

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

VITOR HUGO DE ARRUDA

**VERIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS LIGADAS A MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE DE UM
PROCESSO DE SECAGEM POR SPRAY DRYER**

**Botucatu-SP
Agosto – 2018**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

VITOR HUGO DE ARRUDA

**VERIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS LIGADAS A MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE DE UM
PROCESSO DE SECAGEM POR SPRAY DRYER**

Orientador: Prof. Me. Gilson Eduardo Tarrento

Artigo Científico elaborado sobre as Diretrizes da Revista GEPROS apresentado à FATEC - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, como exigência para cumprimento do Trabalho de Conclusão de Curso no Curso Superior de Produção Industrial

**Botucatu-SP
Agosto – 2018**

Verificação de ferramentas ligadas a manutenção centrada em confiabilidade para aumento de disponibilidade de um processo de secagem por Spray Dryer

Verification of the tools linked to maintenance centered in reliability to increase the availability of a process of drying by Spray Dryer

Resumo

Nos últimos anos, a manutenção industrial vem sofrendo diversas mudanças orientadas pela complexidade dos processos e equipamentos e pelo aumento de produção. Neste cenário há a necessidade da manutenção ser assumida com uma função estratégica dentro da organização. Esta pesquisa apresenta um estudo de caso em uma indústria do ramo nutra-farmacêutico com o objetivo de analisar seu processo de secagem denominado *Spray Dryer* e aplicar ferramentas ligadas a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) para aumentar a disponibilidade do processo. Utilizou registros de paradas de manutenção coletados ao longo de 21 meses para calcular a disponibilidade atual do processo e realizado um estudo com o diagrama de Pareto escolhendo o componente mais crítico desse processo. Realizou-se a aplicação da Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA) no componente mais crítico do processo para análise das falhas e gerado um plano de ação com propostas para a melhoria. Com base no estudo realizado, foi possível propor um plano de ação e também concluir que a técnica de medição de disponibilidade e o uso das ferramentas FMEA e Diagrama de Pareto podem auxiliar na busca de melhores resultados de disponibilidade do processo produtivo da empresa em questão.

Palavras-chave: Análise de Falhas. Disponibilidade. Manutenção.

Abstract

In recent years, industrial maintenance has been suffering several changes driven by intricacy of processes and equipment and increased production. In this scenario, it is required that maintenance must be assumed as strategy function in the organization. This research show a study of the case in a nutra-pharmaceutical industry and the aim is analyzing the *Spray Dryer* process and apply tools with Reliability-Centered Maintenance (RCM) to increase process availability. The current process availability was collect for 21 months from the maintenance stop data and a study was performed with Pareto's diagram and selected the most critical components this it. The failure mode and effects analysis (FMEA) applied to most critical components for to failure analysis and then generated an action plan with proposals for improvements. In conclusion, an action plan was proposal and availability measurement

technique combined to FMEA tools and Pareto's Diagram can help in the search for the better results in the availability of the productive process for the concerned company.

Keywords: Availability. Failure Analysis. Maintenance.

1.Introdução

Historicamente a palavra manutenção vem do latim *manus tenere*, cujo seu significado é manter o que se tem (VIANA, 2002). Devido a presença de equipamentos sofisticados e com alta produtividade, a necessidade de alta disponibilidade é evidente nos meios industriais, ou seja, é necessário o aumento da confiabilidade dos equipamentos para eliminar os custos de inatividade. Segundo Sellitto (2007) a confiabilidade é duração que se espera de um determinado item sem que haja nenhuma falha mediante a um intervalo de tempo estipulado no projeto.

Baseado nessa ideia as técnicas para controle da manutenção industrial sofreu uma grande revolução, pois os custos de inatividade e subatividade dos equipamentos se tornaram altos, portanto não basta ter os recursos necessários para executar a produção, tem que saber utilizá-los para garantir a total eficiência deles (VIANA, 2002). Slack, Chambers e Johnston (2009) afirmam que há benefícios gerados pela manutenção onde se inclui uma maior segurança, confiabilidade no processo, qualidade (equipamento mal conservados, têm maiores probabilidade de produzir produtos não conforme) custo de produção mais baixos, entre outros benefícios.

Um dos métodos quantitativos que vem sendo utilizado para a melhoria da gestão estratégica da manutenção é a MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade). Silva e Ribeiro (2009) destacam que a MCC tem como objetivo obter um bom desempenho funcional com o menor taxa de falha possível. O foco da MCC é basicamente manter o equipamento funcionando e não reestabelecer o mesmo a uma condição de um equipamento novo, através da análise de modo de falhas, a manutenção é direcionada a itens que merecem mais atenção do equipamento, identificando assim qual ação deverá ser tomada gerando assim uma contribuição para a redução de custos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Diedrich e Sellitto (2014) demonstram que a MCC pode ser dividida sobre dois pilares: quantitativo: baseado na análise da disponibilidade do equipamento ou seja, modelando os valores do TBF (*Time Between Failure* – Tempo entre Falhas) e TTR (*Time To Repair* – Tempo de Reparo); e qualitativo, baseado na Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*). O FMEA tem como objetivo, reconhecer as falhas potenciais nos processos ou produto, propor ações que visam eliminar ou reduzir as ocorrência de paradas

oriundas dessas falhas e documentar a fim de criar um referencial teórico para consultas de desenvolvimentos de novos processos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

O objetivo deste artigo é propor uma estratégia de manutenção e um conjunto de melhorias para aumento da disponibilidade em um processo de secagem de produtos nutra-farmacêuticos por *Spray Dryer*. Utilizando ferramentas conhecidas do MCC como: Cálculo de disponibilidade do Processo, através do TBF e TTR; Análise dos Modos de Falha e Efeito do equipamento que apresentar maior representatividade dentro do processo; E por fim propor mudanças através de um plano de ação a fim de reduzir o TTR do equipamento aumentando assim a sua disponibilidade no Processo.

2. Referencial Teórico

2.1 Conceito de Manutenção

O princípio de realizar uma manutenção tem como reparar ou prevenir falhas e reestabelecer um sistema em condições operantes, caso seja detectada a existência de uma falha, tem como principal objetivo aumentar a confiabilidade do sistema e manter a regularidade do mesmo evitando assim danos físicos estruturais e financeiros (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para Barbosa et al. (2009) a implantação de um plano de manutenção tem como benefícios um melhor planejamento do fluxo de caixa, evitando custos desnecessários com paradas de produção não planejadas, prolongamento da vida útil do equipamento, aumento de produtividade, maior envolvimento e comprometimento dos operadores com os equipamento mantendo um zelo pelo mesmo e garantindo a qualidade do produto a ser gerado.

2.2 Conceito de Confiabilidade

O conceito de confiabilidade corresponde a sua probabilidade de desempenhar suas funções pré-estabelecidas por um determinado tempo em um determinada condição ambiental, ao fato de ser considerado uma probabilidade a mesma devem apresentar modelo binário onde devem ser apresentados valores entre 0 ou 1, para obter a confiabilidade de um sistema a mesma se dá entre a razão de todos os componentes que compõem o mesmo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) pode ser definida como um programa com várias ferramentas que tendem a assegurar o correto funcionamento dos equipamentos de um processo, com a aplicação do programa, permite as

empresas alcançarem a excelência nos serviços prestados pela manutenção, além de aumentar a disponibilidade e confiança dos equipamentos dentro da área fabril, reduzindo custos causados por falhas, defeitos presentes nos equipamentos.

A MCC deve como função estratégica acompanhar o os resultados da empresa, o foco não é somente reparar o equipamento e colocá-lo em funcionamento e sim manter sua função disponível o maior tempo possível e reduzir a probabilidade de falhas durante a jornada de trabalho (CERVEIRA; SELLITTO, 2015).

No artigo de Silva e Ribeiro (2009), o mesmo deixa claro que aplicando os princípios do MCC em uma empresa estudada, foi possível observar a relevância aos dados de manutenção, incluindo como armazenar os dados obtidos nas manutenções e a criação de relatórios mais exatos, com data e descrição detalhada das falhas, o mesmo autor recomenda ainda a inserção de custos para que haja uma análise estratégica visando uma possível terceirização.

2.4 Disponibilidade

Um dos principais indicadores da eficiência da manutenção é a disponibilidade dos processos dentro de uma empresa (CERVEIRA, SELLITTO, 2015).

Para Corrêa e Corrêa (2010), a disponibilidade é a relação entre o tempo disponível para o funcionamento do processo e o tempo total previsto para sua operação. Para efeito de cálculo a letra A representa a palavra inglesa *Availability* que significa disponibilidade, MTBF (do inglês *Mean Time Between Failure*) é o tempo médio entre falhas, ou seja, o tempo que o equipamento funciona até que exista a próxima falha e MTTR (do inglês *Mean Time To Repair*) representa o tempo médio de reparo. Representado por Corrêa e Corrêa (2010) através da equação (1).

$$A = \frac{\textit{Tempo disponivel}}{\textit{Tempo total}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

Onde:

A = Disponibilidade.

MTBF = Tempo médio entre falhas.

MTTR = Tempo médio de reparo.

2.5 FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

FMEA é uma ferramenta de baixo risco onde sua aplicação visa estabelecer a prevenção de falhas a partir de uma análise mais estruturada identificando e oferecendo soluções para condução e desenvolvimento de projetos e processos (PALADY, 1997).

Andrade Junior e Martins (2013) afirmam que a aplicação da ferramenta do FMEA geralmente é aplicada para obter maior nível de qualidade, minimização dos custos causados pelas falhas do processo, porém, deve ser implantada com planejamento consistente e uma equipe bem preparada, pois a mesma apresenta limitações em suas aplicações.

De acordo com os resultados obtidos por Machado e Melo (2007), pôde-se verificar que nem sempre as falhas que ocorrem com maior frequência são as mais críticas para o processo e devem ser avaliados outros critérios como ocorrência, gravidade e grau de detecção, outro ponto a ser considerado é a classificação dos itens para obter o NPR (Número Potencial de Risco) que por serem subjetivos podem induzir a aplicação da ferramenta ao erro, todo o processo de classificação deve ser acompanhado por pessoal altamente qualificado evitando assim uma análise fraca.

O MFMEA, do inglês *Machine Failure and Mode Effects Analysis*, é uma adaptação do FMEA, e utiliza os princípios do FMEA, porém o adaptado para evitar paradas indesejadas e não programadas em máquinas e equipamentos industriais, sendo que a sua aplicação remete a analisar um histórico de falhas e pontuar itens como severidade, ocorrência e detecção obtendo assim o RPN (*Risk Priority Number* – Número Potencial de Risco) (PEREIRA, 2009).

3. Materiais e Métodos

O objetivo deste trabalho é analisar os dados de forma qualitativa e quantitativa através de ferramentas que auxiliam com precisão essa função como: Cálculo de disponibilidade dos equipamentos, Diagrama de Pareto para classificar qual falha será a proposta a ser reduzida, propondo uma solução por meio do uso do FMEA (*Failure and Mode Effects Analysis*) e a criação de um plano de ação; onde serão apresentados na forma gráfica ou em tabelas a fim de apresentar maior clareza em sua análise.

Os dados utilizados para esta pesquisa foram fornecidos pelo setor de manutenção de uma empresa atuante no ramo nutra-farmacêutico localizada na região sudeste do país, onde os dados utilizados representam todas as paradas durante o processo de secagem o qual é denominado *Spray Dryer*, paradas estas ocorridas durante o período entre 11/01/2016 e 15/09/2017.

Vale salientar que os dados foram disponibilizados do sistema ERP da empresa e que os mesmos são apontados pelos operadores e verificados pelos profissionais da manutenção, garantindo assim a integridade dos mesmos sem que haja quaisquer alterações.

É importante salientar que as ferramentas foram aplicadas sobre os dados obtidos em uma empresa específica, e não permite generalizar ou utilizá-los como regra para eventuais soluções de problemas em sistemas de secagem por *Spray Dryer*.

3.1 Disponibilidade

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a disponibilidade pode ser definida como a capacidade que um item tem de desempenhar a sua função para qual foi projetado em um tempo determinado através de uma manutenção apropriada. Quando esses itens são não-reparáveis os conceitos de disponibilidade e confiabilidade se igualam, em unidade reparáveis o equipamento passa por uma manutenção supondo que após o reparo o equipamento volte a condição de um novo, tem-se a disponibilidade pela equação (2) conforme ilustrado por Fogliatto e Ribeiro (2009).

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

Onde:

A = Disponibilidade.

$MTBF$ = Tempo médio entre falhas.

$MTTR$ = Tempo médio de reparo.

3.2 Diagrama de Pareto

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), para melhorar qualquer processo é necessário o conhecimento do que é mais e menos importante, para isso o diagrama de Pareto tem o propósito de separar as muitas questões triviais das poucas questões triviais, para isso há uma classificação de dados por ordem de importância (frequência em que elas ocorrem). A análise de Pareto é sustentada pelo fato de poucas causas explicarem a maioria dos defeitos.

3.3 FMEA (Análise de Modo e Efeito da Falha)

Para Slack, Chambers e Johnston (2009) o objetivo do FMEA é encontrar quais as características do produto ou processo são críticas para os tipos de falhas, usado para conhecer

as falhas de um processo antes que aconteçam, listadas através de uma lista de verificação respondendo a 3 perguntas-chave:

- **Ocorrência:** Qual é a probabilidade da falha ocorrer?
- **Severidade:** Qual seria a consequência da falha?
- **Deteção:** Qual a probabilidade que a falha seja detectada antes de afetar o cliente?

Baseando em uma análise quantitativa para as três perguntas é calculado o NPR (Número Potencial de Risco) referente a causa da falha em potencial. Como o cálculo do NPR, é possível gerar ações corretivas que serão aplicadas nas causas que o NPR justifica e indica a sua prioridade.

O formulário da metodologia FMEA utilizado para aplicação da ferramenta é ilustrado conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Modelo de Formulário de FMEA

FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falha							
Componente	Função de Projeto	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Causa da Falha	Fatores		
					O	S	D

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Para o preenchimento do formulário (Quadro 1), foram levadas em consideração algumas perguntas:

Componente: Qual o componente do equipamento que possa apresentar falha?

Função do Projeto: Qual a função principal que esse componente deveria apresentar?

Modo de Falha: Como o componente deixa de desempenhar a função pelo qual foi projetado?

Efeito de Falha: Qual o impacto ao cliente caso exista esse modo de falha?

Causa da Falha: O que leva esse componente ao modo de falha?

O (Ocorrência): Índice de 1 a 10, levando em consideração a frequência que o modo de falha ocorre, sendo 1 para baixa frequência e 10 para uma frequência alta.

S (Severidade): Índice de 1 a 10, levando em consideração a gravidade do efeito que o modo de falha ocasionará, sendo 1 para uma baixa gravidade e 10 para uma gravidade alta.

D (Detecção): Índice de 1 a 10, levando em consideração qual a probabilidade do modo de falha ser detectado, sendo 1 para uma fácil detecção e 10 para uma detecção difícil.

Grau de Risco (NPR): Produto entre os 3 índices de Ocorrência, Severidade e Detecção, definindo assim qual a relevância do modo de falha no equipamento.

4. Resultados

4.1 Disponibilidade

A partir do ERP da empresa foi fornecido o TTR (*Time to Repair*) total, ou seja, a soma do tempo que o equipamento ficou parado durante o período, o TBF (*Time Between Failure*) total, ou seja, a soma do tempo que o equipamento funcionou efetivamente e o total de paradas no processo de Secagem, os dados coletados representam o período de 11/01/2016 a 15/09/2017, dispostos na Tabela 1:

Tabela 1 - Cálculo do MTTR e MTBF

	TTR (Tempo de Reparo)	TBF (Tempo entre Falhas)
Total de Horas	194,48	14478,21
Total de Paradas	136	136
Média (horas)	1,43	106,46

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

As médias MTTR e MTBF são calculadas através da razão entre o total de horas (reparo ou entre falhas) e o número de paradas que aconteceu no processo. O valor do MTTR encontrado foi de 1,43 horas, ou seja, esse é o tempo médio para o reparo do equipamento, o valor do MTBF encontrado foi de 106,46 horas, sendo esse o tempo médio do intervalo entre um reparo e outro. Com esses dados é possível aplicar a equação (2) trazendo assim o valor da disponibilidade do processo, ilustrado pela equação (3) por Fogliatto e Ribeiro (2009).

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{106,46}{106,46 + 1,43} = 98,67\% \quad (3)$$

Analisando a equação (3) vê-se que o valor encontrado da disponibilidade do equipamento é de 98,67% isso significa que, durante o período estudado o equipamento esteve 98,67% de seu tempo disponível para produzir, valor esse elevado e satisfatório para um equipamento que funciona durante 24 horas por dia.

Assim objetivando-se à redução de parada no processo de *Spray Dryer*, é proposta a verificação dos equipamentos que compõe o processo de secagem, visando assim encontrar o qual equipamento está concentrado a maior quantidade de horas improdutivas causadas pela falha do equipamento, conforme os dados da Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de Reparo por Motivo de Parada

Cód. Motivo	Motivo da Manutenção (Equipamento)	TTR (Tempo de Reparo) Horas
304	Pasteurizador UHT	34,42
306	PLC Secagem	33,74
316	Queimador	30,99
300	Atomizador	22,09
320	Válv. Rotativa/Borboleta	18,29
312	Peneira Vibratória	14,23
121	Gás GLP / Vapor	11,98
303	Bomba do Atomizador	7,60
315	Quebrador de Gelo	5,87
322	Ventilador do Transporte	4,28
308	Quadro de Comando	3,64
323	Ventilador Exaustor	1,85
301	Balança	1,50
305	Bomba Efluente	1,45
318	Tq. de Prep. de Mistura	1,16
321	Ventilador do Adutor	0,65
122	Ar Comprimido	0,56
317	Sprinklers	0,18
TOTAL		194,98

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

4.2 Diagrama de Pareto

Os dados foram agrupados de modo que mostrassem qual motivo de manutenção tem maior influência nas paradas de manutenção, classificados por ordem decrescente, onde os primeiros itens são os que possuem maiores números de paradas, ainda foi calculada qual a proporção da quantidade de horas de parada do motivo em questão sobre o total de horas paradas do equipamento, sendo ilustrados com valores em percentual e percentual acumulado.

Para efeito de melhor visualização dos dados os itens que obtiveram menos que 1%, foram agrupados em um item chamado “Outros” que representam 3,8% das horas de parada totais, conforme observa-se na Tabela 3.

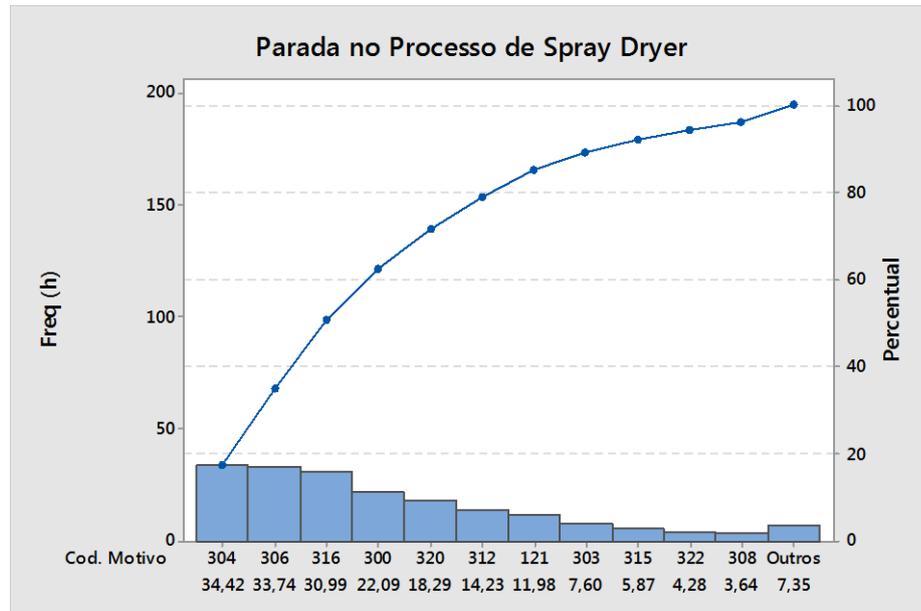
Tabela 3 - Classificação do Tempo de Parada

Cód. Motivo	Motivo da Manutenção (Equipamento)	Frequência (h)	Percentual (%)	Percentual Acumulado (%)
304	Pasteurizador UHT	34,42	17,7%	17,7%
306	PLC Secagem	33,74	17,3%	35,0%
316	Queimador	30,99	15,9%	51,0%
300	Atomizador	22,09	11,4%	62,3%
320	Válv. Rotativa/Borboleta	18,29	9,4%	71,7%
312	Peneira Vibratória	14,23	7,3%	79,1%
121	Gás GLP / Vapor	11,98	6,2%	85,2%
303	Bomba do Atomizador	7,60	3,9%	89,1%
315	Quebrador de Gelo	5,87	3,0%	92,1%
322	Ventilador do Transporte	4,28	2,2%	94,3%
308	Quadro de Comando	3,64	1,9%	96,2%
Outros	Outros	7,35	3,8%	100,0%
TOTAL		194,48	100%	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Com os dados fornecidos pela Tabela 3, tornaram-se conhecido quais são os motivos que apresentam maior impacto nas paradas do processo de secagem. Com base nestes resultados, foi gerado um gráfico de Pareto (Figura 1), que consiste em exibir os dados da frequência em formato de colunas, e o percentual acumulado no formato de linhas, explanando qual é o impacto daquela parada em uma visão geral do período analisado.

Figura 1 - Diagrama de Pareto do Processo de *Spray Dryer*



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Segundo o princípio de Pareto ou regra dos 80/20 que significa que 80% dos problemas são ocasionados por 20% das causas, entendemos que o item “304” (Pasteurizador UHT) que representa 17,7% do tempo total das paradas do processo, com isso foi aplicado a ferramenta do FMEA a fim de identificar quais são as falhas que levam ao item Pasteurizador UHT a parar o Processo de Secagem.

4.3 FMEA

Durante a execução do FMEA foram utilizado como referência para componentes os 6 subsistemas principais do equipamento, utilizando o conhecimento teórico e prático do setor de manutenção foram levantados falhas existentes e falhas em potencial, que poderiam gerar paradas de manutenção no processo, após identificação das falhas as mesmas foram pontuadas obtendo-se o NPR (Número Potencial de Risco), conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 – FMEA do equipamento Pasteurizador UHT

(Continua)

FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falha								
Componente	Função de Projeto	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Causa da Falha	Fatores			
					O	S	D	NPR
Painel Elétrico	Garante toda alimentação elétrica para o funcionamento do equipamento	CLP reiniciando sozinho	Impossibilidade de operação do equipamento	Falha nos cartões de entrada e saída do CLP	1	8	3	24
Painel Elétrico	Garante toda alimentação elétrica para o funcionamento do equipamento	IHM desligada	Impossibilidade de operação do equipamento	Queima da IHM	1	8	1	8
Painel Pneumático	Garante toda alimentação pneumática para o funcionamento do equipamento	Válvulas não acionam	Impossibilidade de operação do equipamento	Baixa pressão de ar - Compressor danificado	2	8	2	32
Painel Pneumático	Garante toda alimentação pneumática para o funcionamento do equipamento	Válvulas não acionam	Impossibilidade de operação do equipamento	Filtro de impurezas entupido	2	8	2	32
Painel Pneumático	Garante toda alimentação pneumática para o funcionamento do equipamento	Válvulas não acionam	Impossibilidade de operação do equipamento	Ilha de Válvulas danificada	2	8	4	64
Tanque BTB	Tanque pulmão para manter o sistema sempre com produto	Bomba do BTB não está acionando	Falta de alimentação de Produto no <i>viscoline</i>	Falha no inversor de frequência	4	5	2	40
Tanque BTB	Tanque pulmão para manter o sistema sempre com produto	Tanque vazio	Falta de alimentação de Produto no <i>viscoline</i>	Sensor de Nível danificado	3	5	5	75
Unidade de Água Fria	Garantir a passagem da água resfriada através do <i>Viscoline</i> afim de resfriar o Produto	Temperatura de saída da pasteurização muito alta	Ineficiência do processo de pasteurização	Bomba de recirculação da água de resfriamento não está dimensionada corretamente	4	8	2	64
Unidade de Água Fria	Garantir a passagem da água resfriada através do <i>Viscoline</i> afim de resfriar o Produto	Água do resfriamento muito quente	Temperatura do produto não resfria no valor pré-determinado, não garantindo o processo de pasteurização	Torre de Resfriamento não resfriando a água na temperatura necessária.	4	7	2	56
Unidade de Água Quente	Aquecer a água que será utilizada para aquecer o produto que passará dentro do <i>Viscoline</i>	Baixa temperatura na Unidade de Água Quente	Não aquece o Produto	Baixa pressão de Vapor	2	6	2	24
Unidade de Água Quente	Aquecer a água que será utilizada para aquecer o produto que passará dentro do <i>Viscoline</i>	Vazamento nas placas do trocador de calor da unidade de água quente	Queimaduras no operador, devido o vazamento de água quente	Entupimento das placas do trocador de calor	2	9	3	54

Quadro 2 – FMEA do equipamento Pasteurizador UHT

(Conclusão)

Componente	Função de Projeto	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Causa da Falha	Fatores			
					O	S	D	NPR
Unidade de Água Quente	Aquecer a água que será utilizada para aquecer o produto que passará dentro do <i>Viscoline</i>	Bomba não está acionando	Não há circulação de água quente no <i>viscoline</i> , não aquecendo o produto.	Falha no inversor de frequência	3	6	3	54
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Bomba que circula o produto na linha, está como o estator danificado	7	8	5	280
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Produto possui características técnicas que impregnam os tubos, causando o entupimento do <i>viscoline</i>	7	8	4	224
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a temperatura de entrada necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Produto com propriedades térmicas que fazem o mesmo de criar uma película de produto no tubo, impossibilitando o aquecimento	5	8	6	240
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a temperatura de entrada necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Sensor de Temperatura impregnado de produto, causando uma falha na medição de temperatura	5	8	4	160
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a pressão na linha para garantir que o produto não perca suas características	Sistema não se estabiliza	Válvula de contrapressão não está regulando o processo corretamente	8	7	1	56
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não retorna ao tanque pulmão	Produto não pasteurizado pode ir para a secagem e perder todo o lote	Válvula de Retorno Travada	2	9	7	126

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Para efeito de redução do grau de risco (NPR) das falhas descritas no Quadro 2, foram criados planos de ação para falhas que possuam o NPR maior que 200, conforme destacado no Quadro 3.

Quadro 3 – Modos de Falha como NPR maior que 200

FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falha								
Componente	Função de Projeto	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Causa da Falha	Fatores			
					O	S	D	NPR
<i>Viscoline</i>	Recebe o Produto em seu interior, através das camisas externas aquece o produto e o resfria para pasteurizá-lo	Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Bomba que circula o produto na linha, está como o estator danificado	7	8	5	280
		Produto não atinge a temperatura de entrada necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Produto com propriedades térmicas que fazem o mesmo de criar uma película de produto no tubo, impossibilitando o aquecimento	5	8	6	240
		Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização	Ineficiência do processo de pasteurização	Produto possui características técnicas que impregnam os tubos, causando o entupimento do <i>viscoline</i>	7	8	4	224

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Pode-se notar que os três modos de falha que obtiveram o NPR maior que 200 foram no componente “*Viscoline*” que tem sua função “receber o produto em seu interior, através das camisas externas aquecendo o produto e resfriando-o para pasteurizá-lo”, o seu correto funcionamento é de extrema importância pois é nele que ocorre a pasteurização.

O modo de falha “produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização” o que pode gerar uma “ineficiência do processo de pasteurização” onde a principal causa seja o “produto possui características térmicas que fazem impregnar produto nos tubos, causando o entupimento do *viscoline*”.

Analisando esses dados foi possível identificar o índice de ocorrência dessa falha, que foi pontuado em 7, onde há uma alta probabilidade de ocorrência, sua severidade, ou seja, o impacto da falha no processo foi pontuado em 8, onde há uma severidade alta e ocasionara alto grau de descontentamento ao cliente e por fim a detecção da causa da falhas, sendo esta a

dificuldade em encontrar a causa da falha, foi pontuado em 5, considerando que há uma probabilidade média de que a falha seja detectada

O modo de falha “produto não atinge a temperatura de entrada necessária para a pasteurização” o que pode gerar uma “ineficiência do processo de pasteurização” onde a principal causa seja o “sensor de temperatura impregnado de produto, causando uma falha na medição de temperatura”

Analisando esses dados foi possível identificar o índice de ocorrência dessa falha, que foi pontuado em 5, onde há uma probabilidade moderada de ocorrência, sua severidade ou seja o impacto da falha no processo foi pontuado em 8, onde há uma severidade alta e ocasionará alto grau de descontentamento ao cliente e por fim a detecção da causa da falhas, sendo ela a dificuldade em encontrar a causa da falha, foi pontuado em 6, sendo que há alguma probabilidade de que a falha seja detectada

O Modo de Falha “Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização” o que pode gerar uma “ineficiência do processo de pasteurização” onde a principal causa seja o “produto possui características térmicas que fazem impregnar produto nos tubos, causando o entupimento do *viscoline*” analisando esses dados foi possível identificar o índice de ocorrência dessa falha, que foi pontuado em 7, onde há uma alta probabilidade de ocorrência, sua severidade ou seja o impacto da falha no processo foi pontuado em 8, onde há uma severidade alta e ocasionara alto grau de descontentamento ao cliente e pôr fim a detecção da causa da falhas, sendo ela a dificuldade em encontrar a causa da falha, foi pontuado em 4, sendo que há uma probabilidade moderada de que a falha seja detectada.

Com o conhecimento dos NPR das falhas foi gerada uma proposta de um plano de ação nos padrões 5W1H (Quadro 4) no qual estabeleceu-se a meta de reduzir o valor de NPR, buscando assim uma menor probabilidade de parada do equipamento, resultantes dos modos de falhas citados.

Figura 2 – Plano de Ação para Redução de NPR

Plano de Ação 5W1H

Equipamento: Pasteurizador UHT

Processo: Secagem - Spray Dryer

Data: Março/2018

Meta: Redução do NPR do Modo de Falha "Produto não atinge a vazão necessária para a pasteurização"

O que Fazer? (What)	Porque? (Why)	Onde? (Where)	Como? (How)	Quem? (Who)	Quando? (When)	STATUS
Análises laboratoriais com o intuito de distinguir quais produtos possuem uma característica que possam entupir o equipamento.	Com a determinação de quais produtos tem o potencial de entupimento, serão tomadas medidas que irá reduzir a detecção da causa da falha e reduzindo assim a ocorrência da mesma	Laboratório de Processo - Secagem	Revisão do Procedimento de Setup, incluído as pré-análises.	Encarregado de Produção/Analista de Processo	jun/18	Em Andamento
Troca Sistemática do estator da Bomba que circula o Produto	Com a troca programada do estator da bomba, evitará que o mesmo se deteriore e reduza a vazão do produto no viscoline, reduzindo assim a ocorrência da causa da falha	Bomba de Produto - Pasteurizador UHT	Revisão do Procedimento de Manutenção Preventiva, incluindo uma rotina para a troca do estator da bomba a cada 2 meses	Encarregado de Manutenção/Técnico de Manutenção	abr/18	Concluído
Criação de um alarme para indicar que a vazão está fora do especificado.	Com a criação do Alarme o operador de Produção poderá ver que a vazão saiu do especificado facilmente, aumentando assim o nível de detecção da causa de falha	Pasteurizador UHT	Alteração do Programa do CLP do Pasteurizador, a fim de criar limites máximos e mínimos para a vazão, acionando um alarme visual e sonoro para o operador caso esteja fora dos limites definidos	Instrumentista	abr/18	Concluído

Meta: Redução do NPR do Modo de Falha "Produto não atinge a temperatura de entrada necessária para a pasteurização"

O que Fazer? (What)	Porque? (Why)	Onde? (Where)	Como? (How)	Quem? (Who)	Quando? (When)	STATUS
Limpeza no sensor a cada 4 horas de produção com o mesmo produto	Como a limpeza é feita somente no início e no fim de cada produção, para produção com durações maiores que 4 horas, aumenta a probabilidade do sensor impregnar de produto, fazendo uma limpeza durante a produção irá reduzir a ocorrência do modo de falha.	Pasteurizador UHT	Revisão do Procedimento de Operação do equipamento incluído uma limpeza para produtos cuja a produção dure mais que 4 horas.	Encarregado de Produção/Operador de Produção	abr/18	Concluído
Criação de um alarme para indicar que a temperatura de entrada está fora do especificado.	Com a criação do Alarme o operador de Produção poderá ver que a temperatura de entrada saiu do especificado facilmente, aumentando assim o nível de detecção da causa de falha.	Pasteurizador UHT	Alteração do Programa do CLP do Pasteurizador, a fim de criar limites máximos e mínimos para a temperatura de entrada, acionando um alarme visual e sonoro para o operador caso esteja fora dos limites definidos.	Instrumentista	abr/18	Concluído

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

5. Discussões

Para Almeida e Carvalho (2016) a disponibilidade só poderá ser calculada corretamente se os dados referente a TTR e TBF forem confiáveis e consistente e que retratem a realidade da organização, caso ao contrario devido à falta de padronização dos dados será criada uma análise superficial e criando contradições entre o valor encontrado e a situação real do equipamento, como aconteceu em sua pesquisa. Indo em contramão os dados apresentados nessa pesquisa foram extraídos dos apontamentos realizados pelos operadores de produção no ERP da empresa estudada e são sequenciais e a prova de qualquer alteração, garantindo assim a integridade dos dados e sustentando o valor encontrado da disponibilidade do processo estudado.

A disponibilidade encontrada no processo de *Spray Dryer* (98,67%) pode ser considerada alta levando em questão que o valor está próximo a 100%, porém se forem considerados os custos operacionais causados pelo equipamento parado, perdas de produtos causados pelas falhas e etc., esse valor de disponibilidade pode ser ampliado, assim como observou Diedrich e Sellitto (2014) em sua pesquisa, onde afirmaram que apesar de um componente apresentar a disponibilidade superior a 99% podem existir ações que alavanquem ainda mais esse resultado, reduzindo assim o custo estratégico da manutenção.

Para levantamento do componente crítico do processo foi utilizado o diagrama de Pareto, conhecido como diagrama de causa e efeito, devido um grande número de componentes para a escolha do mais crítico, o diagrama de Pareto nos fornece uma melhor visualização gráfica do componente mais crítico e de rápida e fácil aplicação, na abordagem de Campos (2013) indica que dentre as ferramentas para detecção de itens críticos o diagrama de Pareto é o mais utilizado devido apresentar um fácil entendimento e está associado a análise de causas mais simples que necessitam da escolha de uma só causa raiz.

A aplicação do FMEA no processo indica que a ferramenta propõe uma análise mais profunda sobre as falhas do processo, devido ao seu método que analisa todas as falhas e garante a criticidade não somente pela ocorrência e sim pelos impactos e importância dos componentes no processo, assim como foi observado por Reis et al (2017) que a aplicação do FMEA contribui positivamente a encontrar quais as ações devem ser tomadas em relação aos modos de falhas de uma maneira mais confiável, direcionando assim quais são as verdadeiras falhas do processo, evitando assim paradas não programadas durante o processo.

Como a aplicação do FMEA deve ser cíclico foi criado um plano de ação onde, tem como objetivo reduzir o valor do NPR das falhas que obtiveram uma pontuação maiores que 200, com o foco de redução do valor do NPR, haverá uma grande redução no itens de severidade, ocorrência e detecção, como foi realizado por Souza et al (2017) em sua pesquisa, que apresentou valores consideráveis na redução do NPR (algumas falhas obtiveram redução de 78%), devido a execução do plano de ação proposto. Reis et al (2017) vão mais além e recomendam que a sistemática do FMEA seja aplicada no âmbito da manutenção industrial a fim de tratar as falhas presentes no processo e com a redução do NPR, expandir a aplicação para outros equipamentos críticos aumentando assim a confiabilidade do processo.

Herpich e Fogliatto (2013) mostra que é possível através da ferramenta do FMEA, otimizar as estratégias do setor de manutenção industrial minimizando os riscos e impactos das falhas sobre o processo, debatendo assim com o objetivo dessa pesquisa, que visa a apresentação da ferramenta FMEA para conhecer o equipamento e assim antecipar os seus modos de falha, evitando a parada do processo.

6. Conclusões

O objetivo principal dessa pesquisa foi demonstrar quais ferramentas podem utilizar na estratégia da manutenção de um processo de Secagem por *Spray Dryer*, de uma empresa nutracêutica, visando a redução de paradas de produção causados por falhas de equipamentos.

Concluí-se que antes de atuar na redução de paradas do processo, é necessário ter uma visão atual do processo para que haja uma análise de quanto melhorar, para isso foi utilizado o Cálculo de disponibilidade do Processo, onde foi apresentado um valor alto porém com aberturas para ser melhorado. Na escolha de qual componente que necessita de uma intervenção, foi utilizado a ferramenta do diagrama de Pareto, pois possui uma fácil aplicação e eficácia na escolha da causa raiz. A aplicação do FMEA no equipamento com maior tempo de parada de processo demonstrou que nem sempre o modo de falha de maior ocorrência é o mais crítico do equipamento, para isso deve haver a integração entre severidade, ocorrência e detecção de falha a fim de encontrar qual o modo de falha que deve ser resolvido para garantir o correto funcionamento do equipamento. Com proposta de continuidade foi elaborado um plano de ação para a redução do NPR dos modos de falhas selecionados, reduzindo assim a parada do processo e conseqüentemente um aumento na disponibilidade do processo.

A principal conclusão é que, através da integração entre as ferramentas do cálculo de disponibilidade, Diagrama de Pareto e FMEA, pode-se propor melhorias ao processo de Secagem permitindo uma maior confiabilidade ao setor de manutenção, apoiando as estratégias da empresa estudada, obtendo assim maior disponibilidade do processo.

Referências

- ALMEIDA, R. B.; CARVALHO, A. L. Análise sistêmica de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade em uma frota de tratores de esteira: projeto piloto aplicado a mineração. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2016, João Pessoa/PB. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2016.
- ANDRADE JUNIOR, P. P.; MARTINS, G.S. Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial na Otimização dos Fatores de Produção. **Revista Perspectivas Online**. Campos dos Goytacazes. v. 3, n. 7, p. 17-27, 2013.
- BARBOSA, R. A.; COSTA, F. N.; FERREIRA, L. M. L.; NUNES, C. E. C. B.; ALVES, I. B. S. Elaboração e implementação de um plano de manutenção com auxílio do 5S: Metodologia aplicada em uma microempresa. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2009, Salvador/BA. **XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2009.
- CAMPOS, D. N. Aplicação de metodologias de confiabilidade na manutenção industrial. **Revista de Administração & Ciências Contábeis**, v. 5, n. 1, 2013.
- CERVEIRA, D.; SELLITTO, M. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. **Revista Produção Online**, v. 15, p. 405-432, 2015.
- CORRÊA, H.; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2010.
- DIEDRICH, A.; SELLITTO, M. A. Manutenção Centrada em Confiabilidade: estudo de caso na indústria de bebidas. **Revista Produção em Foco**, v. 4, n. 1, p. 133-155, 2014.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. v. 1. 288p.

HERPICH, C.; FOGLIATTO, F. S.; Aplicação de FMECA para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, v. 5, n. 9, p. 70-88, 2013.

MACHADO, R. L.; MELO, G. C. Utilização do FMEA na Melhoria de Processos de Fabricação da Indústria Farmacêutica. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2007, Foz do Iguaçu/PR. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2007.

PALADY, P. **FMEA: Análises dos modos de falhas e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Instituto IMAM. 1997, 270p.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2009.

REIS, J. S. S.; PIMENTA NETO, N.; GOULART, C. S.; ALAVANCE, G. Sistemática de tratamento de falhas no âmbito da manutenção industrial com a utilização da metodologia FMEA em um granulador de fertilizantes, **Jornal de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 13-20, 2017.

SELLITTO, M. A. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos, **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v.2, n.1, p.97-108, 2007.

SILVA, A. V.; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2009, Salvador/BA. **XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas. 2009, 703p.

SOUZA, R. S.; ROSA, A. F. P.; PORCIÚNCULA, G. S.; SANTOS, G. T. Aplicação do DMAIC e Análise de Falhas de Embalagens Metálicas na Indústria de Conservas. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 12, n. 4, p. 273-295, 2017.

VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e Controle de Produção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2002, 192p.



Diretrizes para Autores

Formatação do Artigo para Submissão à GEPROS ([Fazer Download de Template](#))

Editor de texto: Microsoft MS Word 97 ou versões mais recentes.

Línguas em que o artigo pode ser apresentado: português ou inglês (desde que anteriormente submetidos à revisão textual por English Native Speaker)

Letra: Times New Roman 12

Formato de página: A4.

Margens: superior 3cm, esquerda 3cm, direita 2cm e inferior 2cm.

Número de páginas: 12 a 18 páginas.

Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas.

Parágrafo: 1,27 cm

Formatação das Referências: ABNT NBR 6023/2002

TEMPLATE E ALGUMAS ORIENTAÇÕES DE COMO ESTRUTURAR O ARTIGO

Título (EM PORTUGUÊS)

Título (EM INGLÊS)

NÃO INSERIR OS NOMES DOS AUTORES

Resumo

Apresentar: o objetivo do artigo, o objeto de estudo, o método de pesquisa utilizado e os principais resultados alcançados e/ou contribuições do artigo.

Palavras-chave:

Abstract

A versão em inglês do resumo.

Keywords:

1.Introdução

Apresentar o tema mais geral e o mais específico da pesquisa. Deixar claro como este tema mais específico tem sido estudado e, a partir daí, apresentar o *gap* da literatura, de forma a apresentar a originalidade do estudo e destacar a questão de pesquisa e o objetivo do artigo. Evidenciar com clareza a justificativa da pesquisa e qual é a contribuição esperada a partir dos resultados do artigo.

2. Referencial Teórico

Apresentar as principais definições para os temas da pesquisa, identificar e apontar as variáveis da pesquisa e elencar e discutir estudos anteriores similares ao seu, a fim de suportar e alicerçar as discussões dos resultados da sua pesquisa.

3. Procedimentos Metodológicos

3.1 Objeto de Estudo

Definir quem é o objeto de estudo, quais foram os critérios de seleção para selecioná-lo e porque este objeto de estudo é relevante para entender o problema de pesquisa apontado em sua pesquisa.

3.2 Procedimentos de Coleta de Dados

Especificar com detalhes quais foram os procedimentos para obter os dados da pesquisa.

3.3 Procedimentos de Análise de Dados

Explicar como os dados da pesquisa foram organizados e tratados.

4. Resultados

Apresentar de forma textual e visual (figuras, quadros e tabelas) os resultados da pesquisa.

5. Discussões

Fazer uma análise crítica dos resultados da pesquisa. Com base nos estudos anteriores discutidos na seção Referencial Teórico, fazer considerações sobre os seus resultados. Ou seja, os resultados da sua pesquisa confirmam a teoria, complementam a teoria, refutam a teoria, apresentam condições de contorno para entender a teoria, etc.

6. Conclusões

Fazer uma breve síntese do objetivo do artigo e como ele foi alcançado. Destacar os principais resultados atingidos e as contribuições do artigo. Sugerir pesquisas futuras e comentar as limitações do estudo.

Referências

Utilizar referências atuais (ex. os últimos 5 anos) e algumas emblemáticas provenientes de periódicos nacionais qualificados e internacionais indexados a bases de dados como Scopus e Web of Science.

(Seguir as normas da ABNT para formatação das referências)