

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UMA PRENSA HIDRÁULICA PARA  
CONFORMAÇÃO DE BORRACHA USANDO O MÉTODO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE

por

Francisco Rosa Roussenq

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, maio de 2021

## CIP - Catalogação na Publicação

Roussenq, Francisco Rosa  
PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UMA PRENSA HIDRÁULICA PARA  
CONFORMAÇÃO DE BORRACHA USANDO O MÉTODO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE / Francisco Rosa Roussenq.  
-- 2021.  
25 f.  
Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Manutenção Centrada em Confiabilidade. 2.  
Análise de Weibull. I. Quintas, Juan Pablo Raggio,  
orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Francisco Rosa Roussenq

PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UMA PRENSA HIDRÁULICA PARA  
CONFORMAÇÃO DE BORRACHA USANDO O MÉTODO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Edson Aseka

Prof. Rodrigo Rossi

Porto Alegre, maio de 2021

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, preciso agradecer a minha família, em especial àqueles que fazem parte do meu dia a dia e sempre me deram toda estrutura e incentivo para estudar: meu pai, Flávio, minha mãe, Nara, e minha avó Therezinha. Tudo que eu sou hoje, eu sou por conta deles. Preciso também agradecer a minha namorada, Mayara, que muito me ajudou e me incentivou nos últimos anos desse curso.

Um agradecimento muito especial a todos da planta petroquímica que me proporcionaram esses 2 anos de estágio fundamentais para minha vida profissional, além dos dados para o desenvolvimento deste estudo. Aqui faço questão de nomear uma pessoa que representa tudo isso: Leonardo Martins Cócio, meu grande mentor nesse período, que muito me cobrou e muito me ensinou e agora é um grande amigo e, por meio deste trabalho, colega de profissão.

Gostaria também de agradecer aos amigos que fiz durante meu tempo na UFRGS. A vida na Engenharia era muito mais difícil antes deles e com uma amizade simples e pura, me fizeram uma pessoa melhor.

Roussenq, Francisco R. **Plano De Manutenção Para Uma Prensa Hidráulica Para Conformação De Borracha Usando O Método De Manutenção Centrada Em Confiabilidade**. 2021. 25 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um plano de manutenção, utilizando o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade, assim como a análise de Weibull no estudo de confiabilidade, para uma prensa hidráulica utilizada para conformar borracha, situada em uma planta petroquímica. Tal equipamento é de extrema importância na fábrica e apresenta muitas falhas, causando paradas de produção não-programadas. Para solucionar este problema, desenvolvemos um plano de manutenção, com as atividades descritas e frequências determinadas. No entanto, estratégias de manutenção *default*, como manutenção corretiva e reprojeção de componentes, foram indicadas para outros itens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plano de Manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade, Análise de Weibull

Roussenq, Francisco R. **Maintenance Plan For A Hydraulic Press To Shape Rubber Using The Reliability Centered Maintenance Method**. 2021. 25 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to development a maintenance plan, following the Reliability Centered Maintenance method, as well as the Weibull analysis in Reliability studies, for a hydraulic press that is used to shape rubber, placed in a petrochemical facility. Such equipment is extremely important to the factory and presents many failures, causing unscheduled production stops. To solve this problem, we have developed a maintenance plan, with the activities described and frequencies determined. However, default maintenance strategies, such as corrective maintenance and component redesign, were recommended for other items.

**KEYWORDS:** Plan Maintenance, Reliability Centered Maintenance, Weibull Analysis

## NOMENCLATURA

### Símbolos

$\lambda$	Taxa de falha
$\beta$	Fator de forma
$\eta$	Vida característica

### Abreviaturas e acrônimos

<i>MTBF</i>	Tempo Médio Entre Falhas
-------------	--------------------------

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	1
2.1. GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....	1
2.2. HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO .....	1
2.3. CONFIABILIDADE .....	2
2.4. WEIBULL .....	3
2.5. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE .....	4
3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE E SUA APLICAÇÃO .....	5
3.1 O EQUIPAMENTO .....	5
3.1.1. Sistema hidráulico de controle .....	6
3.1.2. Sistema mecânico .....	7
3.1.3. Sistema pneumático.....	7
3.2. FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS.....	7
3.3. EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA).....	7
3.4. CONSEQUÊNCIAS DE FALHAS E TIPOS DE ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO .....	8
3.5. WEIBULL NA MCC .....	9
4. RESULTADOS .....	11
5. CONCLUSÃO.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
ANEXO .....	13
APÊNDICE .....	15

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa aplicar o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma prensa hidráulica de uma planta petroquímica. Tal equipamento faz parte da área de acabamento da planta e é responsável por conformar o produto no seu formato final. A prensa hidráulica é notoriamente conhecida por ser um *bad actor*, ou seja, um equipamento com grandes perdas de produção devido a paradas não programadas e ao seu alto custo, não dispondo de equipamento reserva.

Segundo Kardec e Nascif (2001), a operação espera da manutenção e da engenharia, unicamente, maior disponibilidade ao menor custo. Com isso, é possível observarmos como a otimização dos processos de manutenção é algo altamente necessário, visto que, segundo Monchy (1989) a Manutenção é uma ajuda para a produção, e a produção é o grande objetivo.

Para Moubray (2003), a MCC é um método que visa definir ações que assegurem que qualquer ativo físico continue realizando o que seus usuários querem que ele faça quando em operação. Esse método permite desenvolver um plano de manutenção a partir de uma análise das funções do ativo. Além disso, Lafraia (2001) diz que o uso da MCC pode resultar em uma redução de 30% a 40% nos custos de mão de obra e materiais da Manutenção.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um plano de manutenção para uma prensa hidráulica, mais especificamente, para a prensa da linha A de produção. Isso será feito usando o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO

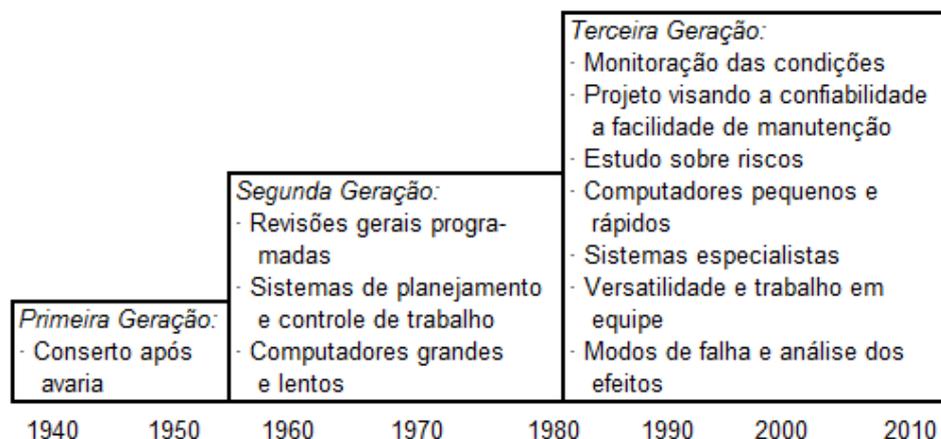
A manutenção é necessária, visto que, segundo Lafraia (2001), dificilmente um produto irá alcançar vida ilimitada e isenta de falhas. Já Moubray (2003), aborda dois princípios para o gerenciamento de ativos: manter e, de tempos em tempos, modificar. A manutenção consiste em garantir que equipamentos continuem operando da maneira desejada e por isso, em muitas ocasiões, é necessário modificar o equipamento.

A NBR 5462 - Confiabilidade e Mantabilidade (1994) divide a manutenção em três principais tipos: A manutenção corretiva, que é executada após a falha ocorrer e restaura a condição do equipamento para operação; a manutenção preventiva, executada de tempos em tempos e que procura reduzir a probabilidade de falha e desgaste; e a manutenção preditiva, que através de medições nos equipamentos, reduz ao mínimo as manutenções corretivas e preventivas. Estes dois últimos tipos de manutenção, preventiva e preditiva, podem ser classificados como manutenção proativa, visto que uma atitude proativa é tomada antes da falha ocorrer.

### 2.2. HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

Segundo Moubray (2003), a manutenção talvez seja a disciplina de gerenciamento que mais evoluiu nos últimos anos, devido a vários fatores como o aumento da quantidade de itens físicos, projetos mais complexos e novas técnicas de manutenção. A manutenção pode ser historicamente dividida em 3 gerações. A Figura 1 mostra essa linha do tempo.

Figura 1 – Linha do tempo da história da manutenção. Fonte: Moubray, 2003.



A primeira geração, que vai até a Segunda Guerra Mundial, é relacionada com uma indústria pouco mecanizada e com equipamentos muito simples, sendo pouco relevante os tempos de parada de equipamentos. Com isso, a prevenção de falhas não era considerada muito importante.

No entanto, durante a Segunda Guerra Mundial, a grande demanda de produção e a baixa oferta de mão de obra aumentaram a mecanização das indústrias, tornando-as dependentes destes equipamentos. Segundo Moubray (2003), neste período, a ideia era que falhas poderiam e deveriam ser evitadas. De tal premissa, surgiu o conceito de manutenção preventiva, que, essencialmente, eram revisões gerais dos equipamentos com um certo intervalo de tempo.

A partir dos anos 70, com a introdução da automação na indústria, a expectativa de qualidade e desempenho dos produtos aumentou, junto com a conscientização de preservação do meio ambiente. Com isso, as falhas ficaram mais frequentes e a demanda de manutenção maior. Dessa forma, centenas de novas técnicas surgiram, e entre elas, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MOUBRAY, 2003).

### 2.3. CONFIABILIDADE

Lafraia (2001, p. 15) define confiabilidade como “PROBABILIDADE de que um componente ou sistema cumpra sua função com SUCESSO, por um período de TEMPO previsto, sob condições de OPERAÇÃO especificadas”. É importante ressaltar que confiabilidade é uma função do tempo, mais especificamente, do tempo de operação do equipamento.

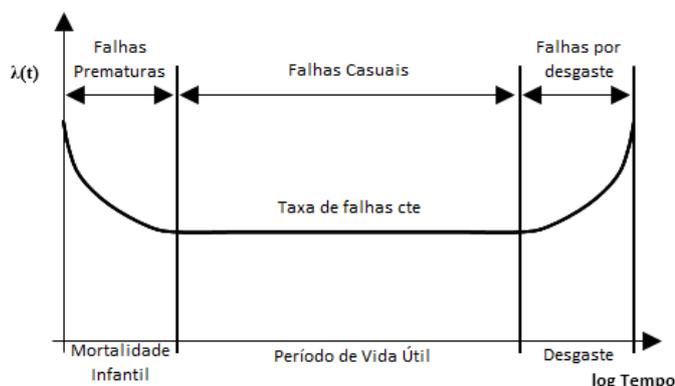
Lafraia (2001, p. 15) define também o inverso de confiabilidade, a falha, como “impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com sua função no nível especificado ou requerido”. A frequência de falhas, num espaço de tempo, é chamada de taxa de falha  $\lambda$  mostrada pela Equação 1.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (1)$$

Onde *MTBF* é o *Mean Time Between Failures*, traduzindo, o Tempo Médio Entre Falhas.

Tendo a definição de taxa de falha e sabendo que esta depende do tempo, temos o Gráfico da Banheira, representado na Figura 2. Este gráfico mostra as três fases da vida de um equipamento ou componente: Mortalidade Infantil, Período de Vida Útil e Desgaste.

Figura 2 – Gráfico da Banheira, que mostra as três fases características da vida um equipamento. Fonte: Lafraia, 2001.



A primeira fase, Mortalidade Infantil, apresenta falhas prematuras e são decorrentes de falhas de projeto, defeitos de fabricação ou erros de montagem. Já a segunda fase, Período de Vida Útil, tem-se uma taxa de falhas constantes no tempo e decorrem de motivos aleatórios. Por último, a fase de Desgaste, onde acontecem falhas por desgastes dos componentes. O começo dessa última fase é conhecido como o fim da vida útil do equipamento.

#### 2.4. WEIBULL

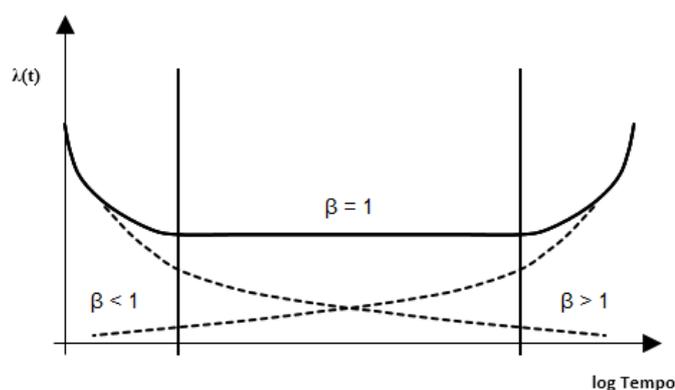
A distribuição de Weibull é a principal distribuição de probabilidade quando o assunto é confiabilidade. É capaz de representar, por meio de seus parâmetros, componentes e equipamentos com alguns comportamentos diferentes.

Assim, a Equação 2 mostra a taxa de falha  $\lambda(t)$ .

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

Os parâmetros  $\eta$  e  $\beta$ , onde  $\eta$  representa a vida característica do componente ou equipamento e  $\beta$  o fator de forma e, de acordo com o seu valor, podemos saber em qual fase de vida está o equipamento. A Figura 3 mostra a representação das fases de vida de acordo com os valores do fator de forma  $\beta$  em um gráfico da taxa de falhas  $\lambda$  e o log do tempo.

Figura 3 – Curva da Banheira mostrando os valores de fator de forma de cada fase de vida. Fonte: Lafraia, 2001.



Com o fator de forma  $\beta < 1$  temos a fase de Mortalidade Infantil. Já quando o fator de forma for  $\beta = 1$ , o componente ou equipamento em questão está em sua fase de Vida Útil. E, quando o fator de forma for  $\beta > 1$ , temos o fim da vida útil ou fase de Desgaste. Essas fases estão explicadas na seção 2.3.

## 2.5. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Lafraia (2001) aponta que uma das diferenças da manutenção tradicional em relação à MCC é que na segunda assume-se que é tecnicamente impossível evitar todas as falhas e que, mesmo que fosse possível antecipar elas, seria economicamente inviável. Já Moubray (2003, p. 7), reduz o método de MCC em sete perguntas básicas sobre os componentes analisados:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

O conjunto das etapas posteriormente explicadas por Moubray (2003), resulta na resposta das perguntas acima. Antes de tudo, é necessário escolher o equipamento ou componente que será analisado. O primeiro passo do MCC é definir cada uma das funções do equipamento. Importante ressaltar que não importa apenas o cumprimento das funções, mas também o padrão de desempenho atrelado a elas. Dado que um equipamento irá se deteriorar com o passar do tempo, Moubray (2003) explica que é necessário que ele seja projetado para ter um desempenho melhor que o esperado pelo usuário. Assim, Moubray (2003) define desempenho desejado como o desempenho do equipamento esperado pelo usuário e capacidade intrínseca como o desempenho inicial do equipamento, devendo ser maior que o desempenho desejado.

Ainda dentro do primeiro passo da MCC, temos que analisar as falhas funcionais de cada função descritas para o equipamento. Moubray (2003, p.47) explica que “falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário”.

O segundo passo da MCC consiste na execução do método FMEA, sigla em inglês para *Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise de Modo e Efeito de Falha. É necessário atribuir modos de falha para cada falha funcional determinada no primeiro passo. O modo de falha pode ser entendido como a causa da falha funcional. Cada um desses modos de falha irá gerar um efeito de falha, que, segundo Moubray (2003), é o efeito que acontece quando o modo de falha ocorre.

Por último, o terceiro passo da MCC é a análise das consequências dos modos de falha e a definição do tipo de atividade de manutenção que deve ser aplicado. Um diagrama de decisões, como o de Lafraia (2001) pode ser utilizado para definir as consequências de modo de falha, é encontrado no Anexo I. Para definir o tipo de atividade de manutenção a ser aplicado também pode ser utilizado um diagrama de decisões, como o encontrado no Anexo II (LAFRAIA, 2001).

### 3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE E SUA APLICAÇÃO

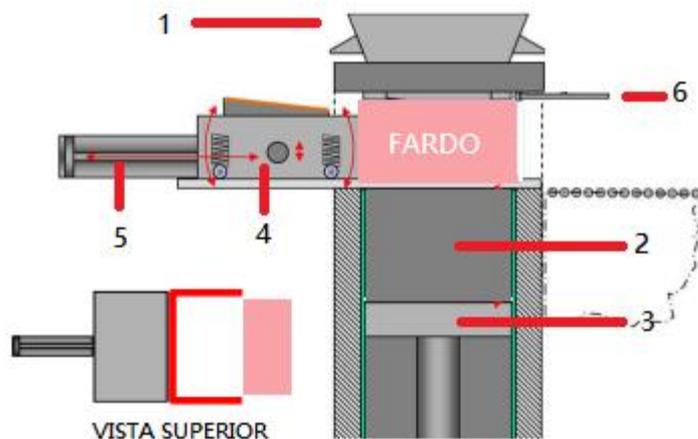
#### 3.1 O EQUIPAMENTO

A prensa hidráulica tem a função de prensar pequenos grumos de borracha em fardos com dimensões específicas e opera 24 horas por dia, 7 dias por semana. Tal equipamento consiste em dois cilindros hidráulicos: um de orientação vertical, chamado cilindro de prensagem, que atua como o fundo móvel da cavidade de prensagem; e outro de orientação horizontal, chamado cilindro de cobertura, que movimenta a cobertura da cavidade de prensagem para o lado, abrindo a mesma para receber a carga de borracha.

Ambos cilindros são movimentados por uma unidade hidráulica externa, que é composta pelo tanque de óleo com os blocos de controle acima dele e duas bombas ao lado. A saída dos blocos para o equipamento no interior do prédio de acabamento é feita por mangotes ligados a tubulações de alta pressão. Próximo à prensa, novamente mangotes ligam a tubulação aos cilindros.

O cilindro de cobertura ainda possui uma segunda função, que é de expulsar o fardo já prensado para fora da prensa. A necessidade disso se deve aos dois momentos em que a cobertura é utilizada: para recebimento da borracha, quando é necessário que a caixa de alimentação seja vedada para evitar a perda de finos de borracha (que são grumos de borracha muito pequenos) para fora da prensa; e para expulsar o fardo, quando é necessário mover uma das laterais para que este possa sair para o lado, em direção ao transportador. Esse componente é articulado com o uso de um atuador rotativo. A Figura 4 mostra a prensa em corte.

Figura 4 – Representação do conjunto da prensa em corte.



Na Figura 4, vemos o ponto (1) que mostra a entrada de borracha (por gravidade) e a cavidade, ponto (2). O conjunto de cobertura (4) é vazado para a passagem da borracha que cai na cavidade. Podemos entender melhor esse conjunto ao olhar a vista superior ainda na Figura 4. O ponto (3) representa o cilindro de prensagem, enquanto o cilindro de cobertura é representado pelo ponto (5). No ponto (6) é possível ver o *flap* na posição aberta.

A prensa como um todo é tida com um *bad actor* na planta, ou seja, apresenta ótimo desempenho quando operando, mas falha com muita frequência. Se analisarmos os dados de paradas de produções dos anos de 2017 a 2020, na Tabela 1, podemos entender melhor a necessidade de aumento de confiabilidade, especialmente sabendo que o equipamento não tem reserva, devido ao seu porte físico e alto custo.

Tabela 1 – Valores de parada de produção da prensa no decorrer dos anos. A posição se refere ao tempo parado em relação aos outros equipamentos.

Ano	Posição	Tempo
2017	2°	32h50min
2018	1°	20h49min
2019	2°	28h18min
2020	1°	20h23min

Fazendo uma análise do histórico de falhas do período e dividindo-as por componentes, chegamos na Tabela 2.

Tabela 2 – Histórico de falhas da prensa por componentes.

Componente	Ocorrências
Ar de limpeza	2
Blocos hidráulicos	2
Carro de avanço	1
Chaparia	8
Cilindro de cobertura	2
Cilindro de prensagem	3
Cobertura	2
Elétrica	4
Flap	12
Sensores dos cilindros	1
Sujidade	3
Unidade hidráulica	8
<b>Total</b>	<b>48</b>

Com esses dados em mãos, e sabendo da importância do equipamento para a planta, podemos ver a necessidade de aplicar algum método para melhorar a confiabilidade do conjunto. Em especial, ao vermos a Tabela 2, onde os componentes têm quantidades de falha diferentes no total de paradas de produção. A prensa foi subdividida em três sistemas.

### 3.1.1. Sistema hidráulico de controle

O sistema hidráulico de controle é responsável pelo acionamento de ambos os cilindros. Compreende um tanque de armazenamento de óleo, duas bombas (que trabalham em conjunto), um bloco de controle de pressão, dois blocos de controle de acionamento (um para cada cilindro), os dois cilindros e um trocador de calor para baixar a temperatura do óleo de retorno ao tanque. Com exceção dos cilindros, todos os outros componentes são externos ao prédio, sendo a ligação do sistema por mangotes e tubulações.

### 3.1.2. Sistema mecânico

Compreende a estrutura física da prensa, a cavidade de prensagem (toda em inox para evitar a aderência de borracha), e o conjunto da cobertura móvel. Em especial para a análise de MCC, este último item é de maior importância, por ser móvel e apresentar componentes que falham. Este conjunto da cobertura pode ser dividido no carro de avanço, que sustenta a cobertura por meio de molas, e as rodas do carro de avanço, que contêm rolamentos e correm em trilhos.

### 3.1.3. Sistema pneumático

Esse sistema é alimentado pelo ar de serviço da fábrica, por meio de compressores localizados em outra área e que não fazem parte dessa análise. Na prensa, o ar de serviço aciona o *flap* da caixa de alimentação da cobertura, que é responsável por vedar o caminho aberto durante a alimentação de produto para dentro da cavidade de prensagem e abrir espaço para a saída do fardo já prensado.

O sistema pneumático tem outras funções, como a injeção de antiaderente (por meio de névoa) na cavidade de prensagem, a fim de evitar que a borracha se prenda nas paredes e uma saída de ar para a limpeza externa do equipamento, que acaba acumulando finos de borracha no entorno e pode acabar atrapalhando o processo quando em grandes quantidades.

## 3.2. FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

A primeira etapa do método de MCC consiste em definir as funções e falhas funcionais do equipamento. A Tabela 3 mostra a divisão feita para a prensa hidráulica.

Tabela 3 – Funções e falhas funcionais da prensa hidráulica.

Sistema	Função	Falhas funcionais
Sistema hidráulico de controle	Acionar cilindro de cobertura e de prensagem	Não movimentar o(s) cilindro(s) para a posição correta
		Não expulsar o fardo
		Não prensar o fardo na altura correta
	Conter óleo	Vazar óleo
	Bombear o óleo	Baixa pressão no sistema hidráulico
Sistema mecânico	Movimentar o conjunto do carro de avanço	Não conseguir fechar a cobertura na cavidade
		Não conseguir avançar o conjunto até o ponto certo
Sistema pneumático	Injetar antiaderente na cavidade	Falta de antiaderente
		Excesso de antiaderente
	Movimentar o flap	Não conseguir expulsar o fardo
		Forçar o flap
Ar de limpeza		Não limpar os finos de borracha do entorno da prensa
		Jogar finos de borracha na cavidade

### 3.3. EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)

Aplicando o método FMEA na Tabela 3, temos os modos e efeitos de falha de cada uma das falhas funcionais. No Apêndice I, temos o resultado completo dessa análise. Na Tabela 4, temos o resultado da função “acionar cilindro de cobertura e de prensagem”.

Tabela 4 – Modos de falha e efeitos para a função “acionar cilindro de cobertura e de prensagem”.

Sistema	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito de falha
Sistema hidráulico de controle	Acionar cilindro de cobertura e de prensagem	Não movimentar o(s) cilindro(s) para a posição correta	Falha nos sensores de posição	Falha no ciclo pois falta a informação de que o cilindro chegou no fim de curso. Parada de produção de 2 horas
			Falha em alguma solenoide dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas
			Falha em algum elemento lógico dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas
		Não expulsar o fardo	Gaxeta com desgaste	Pressão hidráulica insuficiente para expulsar o fardo corretamente. Parada de produção de 4 horas
		Não prensar o fardo na altura correta	Parafuso do cilindro principal com desgaste	Quebra do parafuso. Parada de produção de 4 horas
			Falta de pressão por falha em alguma bomba	Pressão hidráulica insuficiente para prensar o fardo corretamente. Parada de produção de 8 horas

### 3.4. CONSEQUÊNCIAS DE FALHAS E TIPOS DE ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO

Utilizando o diagrama de decisões para consequência de modo de falha de Lafraia (2001) do Anexo I podemos definir as consequências de falha para cada um dos modos de falha do Apêndice I. Podemos utilizar também o diagrama de decisões de Lafraia (2001), do Anexo II, para definir o tipo de atividade de manutenção. A aplicação de ambos diagramas resultam no Apêndice II. Na tabela 5, vemos novamente o resultado para os modos de falha da função “acionar cilindro de cobertura e de prensagem”.

Tabela 5 – Consequências de falha e tipo de atividade de manutenção para os modos de falha da função “acionar cilindro de cobertura e de prensagem”.

Modo de falha	Efeito de falha	Consequência de falha	Tipo de atividade de manutenção
Falha nos sensores de posição	Falha no ciclo pois falta a informação de que o cilindro chegou no fim de curso. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Falha em alguma solenoide dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Falha em algum elemento lógico dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Gaxeta com desgaste	Pressão hidráulica insuficiente para expulsar o fardo corretamente. Parada de produção de 4 horas	Oculto	Substituição programada
Parafuso do cilindro principal com desgaste	Quebra do parafuso. Parada de produção de 4 horas	Operacional	Substituição programada
Falta de pressão por falha em alguma bomba	Pressão hidráulica insuficiente para prensar o fardo corretamente. Parada de produção de 8 horas	Operacional	Manutenção preditiva

### 3.5. WEIBULL NA MCC

A análise de Weibull é uma ferramenta para identificar a fase da vida de um equipamento ou componente. Segundo Ron Hinn (2021) essa análise deve ser feita visando um modo de falha em específico. Como vemos na Tabela 2, dentre os componentes da prensa, temos como *bad actor* o *flap*. De acordo com Ron Hinn (2021) o melhor método para a análise de Weibull é elencar os intervalos entre falhas em uma tabela e usar o método logarítmico de Weibull que resulta uma reta, necessitando de menos pontos para a construção. Equações 3 e 4 mostram os eixos  $X$  e  $Y$  a serem plotados (RON HINN, 2021).

$$X = \ln(\Delta t) \quad (3)$$

Onde  $\Delta t$  é o intervalo de tempo entre falhas.

$$Y = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{i-0,3}{N+0,4}} \right) \right] \quad (4)$$

Onde  $i$  é a ordem dos dados de tempo entre falhas e  $N$  é o número de dados.

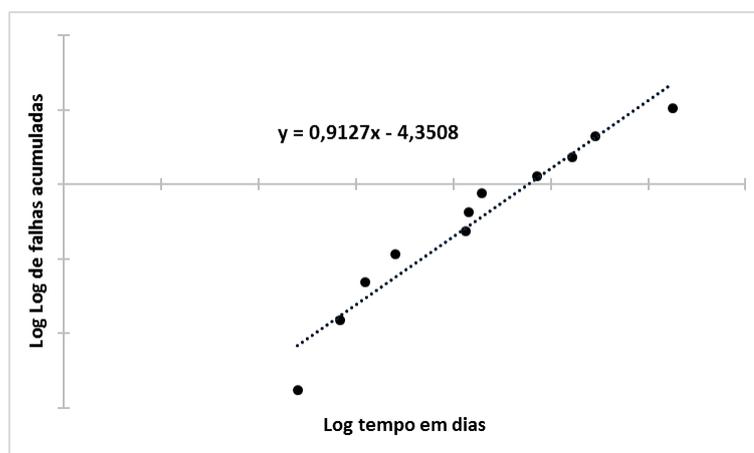
Com essas equações, montamos a Tabela 6 com os dados do histórico do *flap*. Esse histórico completo está no Apêndice III.

Tabela 6 – Dados do histórico do *flap* aplicados a equações de Weibull.

Ordem	Intervalo entre falhas em dias	X	Y
1	11	2,39790	-2,75877
2	17	2,83321	-1,82333
3	22	3,09204	-1,30836
4	30	3,40120	-0,93549
5	62	4,12713	-0,63204
6	64	4,15888	-0,36651
7	73	4,29046	-0,12098
8	129	4,85981	0,11803
9	185	5,22036	0,36489
10	235	5,45959	0,64342
N = 11	518	6,24998	1,02614

Com isso obtemos o gráfico da Figura 5 de Weibull linear.

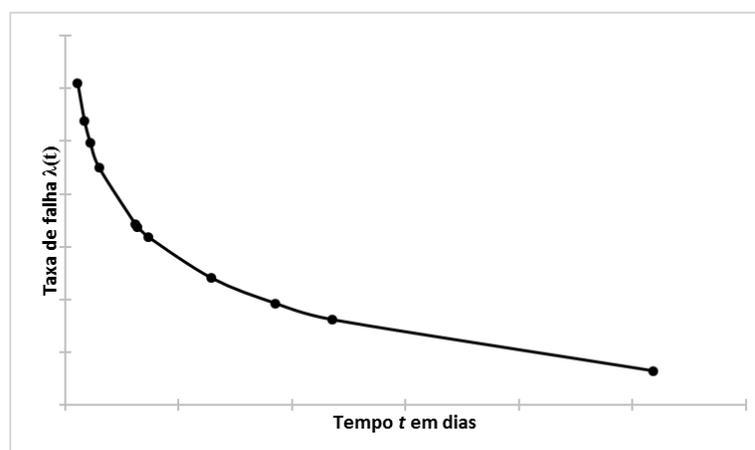
Figura 5 – Gráfico de Weibull linear e a equação da linha de tendência.



Podemos utilizar a ferramenta do *Excel* para exibir a equação da linha de tendência, que cria uma regressão linear com os pontos dados. Sabendo que a inclinação da reta dessa regressão representa o valor de  $\beta$  temos que  $\beta=0,9127$ . Também podemos ver na equação que o valor constante é  $b = -4,3508$ . Com a Equação 5 podemos calcular o valor do parâmetro  $\eta$ .

$$\eta = -\frac{b}{\beta} \quad (5)$$

Com isso temos o valor de  $\eta=117,56$ . Tendo os dois parâmetros de Weibull,  $\beta$  e  $\eta$ , aplicamos a Equação 2 e plotamos o gráfico de Weibull de taxa de falha  $\lambda$  versus tempo  $t$  na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico de Weibull da taxa de falha  $\lambda$  versus tempo  $t$  do *flap*.

É possível notar que a curva do gráfico se comporta como uma curva com  $\beta < 1$ , comprovando o valor encontrado para  $\beta$  anteriormente. Com isso, vemos que o componente *flap* se encontra na fase de mortalidade infantil, ou seja, apresenta falhas decorrentes de erros de projeto, defeitos de fabricação ou erro de montagem.

#### 4. RESULTADOS

Utilizando como base a tabela presente no Apêndice II, é proposto um plano de manutenção para o equipamento estudado neste trabalho. Como o método da MCC não oferece um meio de definir a frequência das atividades proativas, esta definição foi feita baseada nas atividades da planta.

Por exemplo, manutenção preditiva: a ronda na planta é feita mensalmente, tendo então a frequência mensal para essa estratégia.

Itens de inspeção puramente visual, como vazamento de óleo nas conexões da unidade hidráulica, são definidos como frequência diária, dada a sua simplicidade de execução. Outros tipos de inspeção, em locais que não são de fácil acesso, como a inspeção de molas quebradas do carro de avanço, foram colocadas com frequência quinzenal, já que há uma janela para essa verificação a cada 15 dias, quando a linha é parada para limpeza operacional. Este momento é interessante para a restauração programada (limpeza) dos bicos de antiaderente também.

O restante dos itens foi colocado com frequências maiores, baseado em estudo do histórico de falhas. Já itens como os mangotes hidráulicos foram colocados com frequência trianual, pois este é o período em que é feito paradas de manutenção. A Tabela 7 mostra o plano de manutenção proativa da prensa que deve aumentar a confiabilidade da mesma.

Tabela 7 – Plano de manutenção proativa da prensa.

	Título	Descrição
Plano diário	Inspeção das conexões da UH	Inspeccionar todas as conexões da unidade hidráulica procurando por vazamentos e fazer o aperto se encontrado
Plano quinzenal	Limpeza dos bicos de antiaderente	Limpar os bicos de antiaderente
	Inspeção das molas da cobertura	Inspeccionar todas as molas do carro de avanço da cobertura procurando por molas quebradas e fazer a troca se encontrado
	Inspeção dos rolamentos da cobertura	Inspeccionar todos os rolamentos do carro de avanço da cobertura procurando por rolamentos desgastados e fazer a troca se encontrado
Plano mensal	Preditiva nas bombas da UH	Análise de vibração das bombas da unidade hidráulica da prensa
Plano semestral	Substituição das gaxetas dos cilindros	Substituir as gaxetas dos cilindros de cobertura e de prensagem
	Substituição do parafuso do cilindro de prensagem	Substituir o parafuso do cilindro de prensagem
	Substituição das cunhas da cobertura	Substituir as cunhas de teflon da cobertura de prensagem
	Substituição dos trilhos da cobertura	Substituir os trilhos do carro de avanço da cobertura
Plano anual	Limpeza do trocador de calor da UH	Abrir boleados para limpeza do trocador de calor da unidade hidráulica da prensa
Plano trianual	Substituição dos mangotes da prensa	Substituir todos os 10 mangotes hidráulicos da prensa. - 4 do cilindro de cobertura (avanço e retorno, interno e externo) - 4 do cilindro de prensagem (avanço e retorno, interno e externo) - 2 das bombas

Itens de automação, como os sensores de posição dos cilindros e os elementos lógicos dos blocos de controle, ficam como manutenção corretiva, uma vez que esse tipo de componente não apresenta desgaste.

Finalmente, temos que analisar o *flap*. Pelo método da MCC, vemos que esse item deve sofrer uma modificação de projeto. Com a análise de Weibull, observamos novamente que esse componente deve ser reprojeto, uma vez que, pela característica da curva, temos que ele apresenta falhas prematuras decorrente de erros de projeto, fabricação ou instalação e qualquer manutenção proativa não irá aumentar a confiabilidade. Logo, no caso desse componente, fica indicado a necessidade de um projeto de melhoria, visando aumento de confiabilidade.

## 5. CONCLUSÃO

É possível ver os trunfos do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade após a confecção desse trabalho. O estudo baseado nas funções que um equipamento deve cumprir é de grande utilidade para organizar o processo de definição de um plano de manutenção. Contudo, é um método trabalhoso e indicado apenas para equipamentos de alta importância e responsabilidade e que apresentam baixa confiabilidade.

Em conjunto com a MCC, a análise de Weibull também se mostra uma ferramenta bastante útil para o estudo, em especial quando focado em um modo de falha específico. Entender que um componente em fase de mortalidade infantil apresenta alta taxa de falhas e que manutenção proativa não irá resolver o problema é o primeiro passo para realmente aumentar a confiabilidade do equipamento.

No caso da prensa hidráulica analisada percebeu-se a necessidade de reprojeto do componente *flap*, notoriamente conhecido por ser um *bad actor*. O desenvolvimento de um projeto de melhoria para esse componente fica para uma próxima análise e, subsequentemente, um reestudo do histórico de falha do mesmo.

O próximo passo é implementar o novo plano de manutenção para o equipamento e fazer o acompanhamento dos tempos de parada de produção. Para o futuro é indicado fazer a análise de MCC de outros equipamentos que apresentam um grande número de falhas, como o robô responsável por colocar os fardos já embalados nas caixas de transporte no final da linha.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas “**NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**”. 1994

Kardec, A., Nascif, J.; "**Manutenção: Função Estratégica**", Qualitymark Editora Ltda, 2ª edição, 2001

Lafraia, J.R.B.; "**Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**", Qualitymark Editora Ltda, 1ª edição, 2001

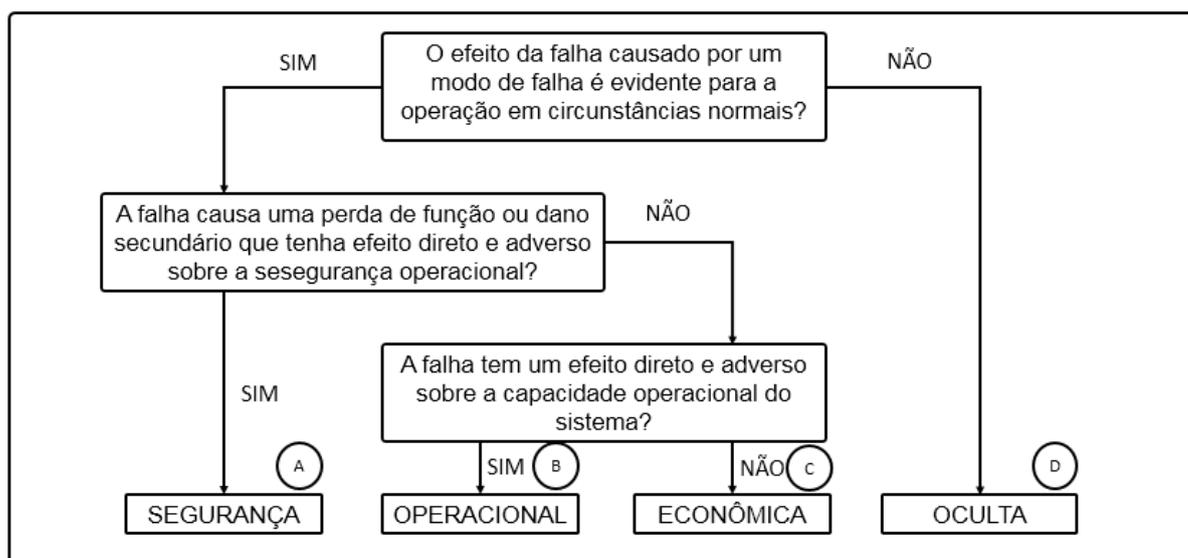
Monchy, F. "**A função manutenção - Formação para a gerência da manutenção industrial**". Editora Durban, 1989

Moubray, J.; "**Manutenção Centrada em Confiabilidade**", Edição brasileira, Editora Aladon Ltd, 2ª impressão, 2003

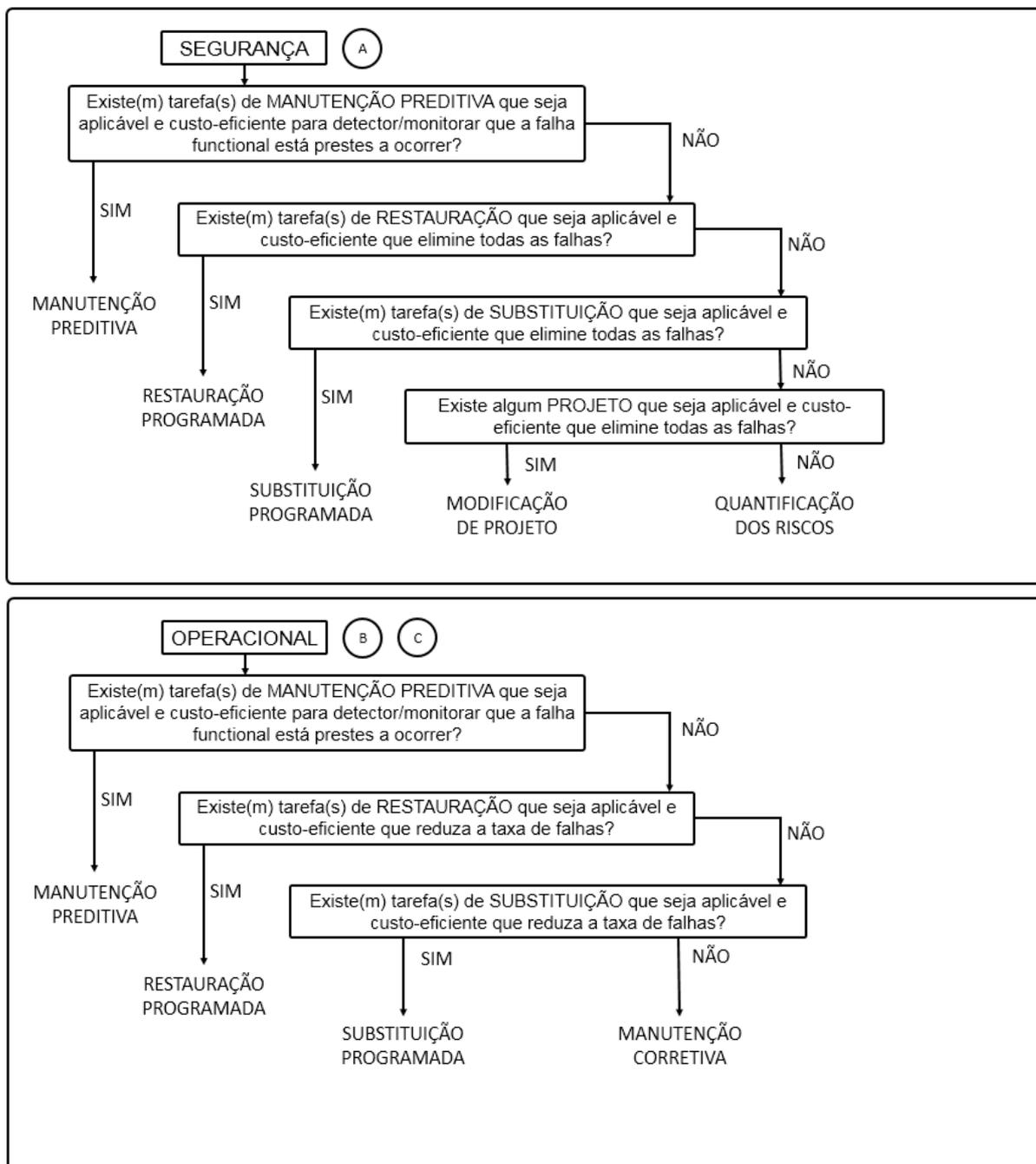
**Reliability Analytics: Using Weibull Analysis to Maximize Equipment Reliability.** Publicado por PetroSkills. [S. l.: s. n.], 16 fev. 2021. 1 vídeo (1h 11min 28seg). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=knATbus7XQU>. Acesso em: 27 abr. 2021.

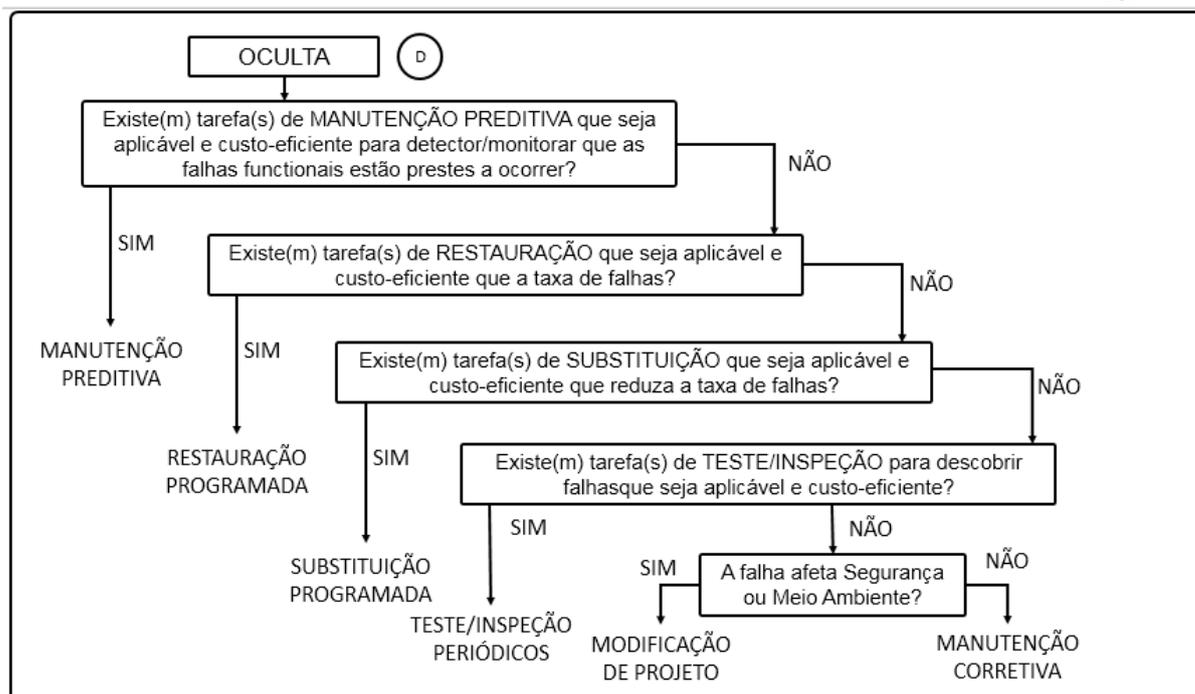
## ANEXO

Anexo I – Diagrama de decisões para consequência de modo de falha. Fonte: Lafraia, 2001, p.268.



Anexo II – Diagrama de decisões para tipo de atividade de manutenção. Fonte: Lafraia, 2001, p. 270, 272 e 271.





## APÊNDICE

### Apêndice I – FMEA completo da prensa

Sistema	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito de falha
Sistema hidráulico de controle	Acionar cilindro de cobertura e de prensagem	Não movimentar o(s) cilindro(s) para a posição correta	Falha nos sensores de posição	Falha no ciclo pois falta a informação de que o cilindro chegou no fim de curso. Parada de produção de 2 horas
			Falha em alguma solenoide dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas
			Falha em algum elemento lógico dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas
		Não expulsar o fardo	Gaxeta com desgaste	Pressão hidráulica insuficiente para expulsar o fardo corretamente. Parada de produção de 4 horas
		Não prensar o fardo na altura correta	Parafuso do cilindro principal com desgaste	Quebra do parafuso. Parada de produção de 4 horas
			Falta de pressão por falha em alguma bomba	Pressão hidráulica insuficiente para prensar o fardo corretamente. Parada de produção de 8 horas
	Conter óleo	Vazar óleo	Conexões perderam aperto	Perda de pressão hidráulica. Parada de produção de 1 horas
			Mangueira com vazamento	Perda de óleo para o ambiente. Parada de produção de 2 horas
	Bombear o óleo	Baixa pressão no sistema hidráulico	Falha de uma bomba hidráulica	Perda de pressão hidráulica. Parada de produção de 8 horas
			Baixa eficiência do resfriamento do óleo, diminuindo a viscosidade do óleo e aumentando o esforço das bombas	Trocador de calor com baixa eficiência. Parada de produção de 8 horas

Sistema mecânico	Movimentar o conjunto do carro de avanço	Não conseguir fechar a cobertura na cavidade	Desgaste cunhas	Produto estrudado entre a cavidade e a cobertura por falta de vedação. Parada de produção de 2 horas
			Mola quebrada	Cobertura encaixa torta na cavidade, podendo deixar gaps para a saída de produto. Parada de produção de 2 horas
		Não conseguir avançar o conjunto até o ponto certo	Desgaste dos trilhos	Interrupção no ciclo pois cobertura não chega no ponto necessário. Parada de produção de 8 horas
			Falha em rolamento	Aumento do esforço do cilindro de cobertura, levando a aumento de temperatura do sistema hidráulico. Parada de produção de 6 horas
			Quebra do carro de avanço	Interrupção no ciclo pois cobertura não chega no ponto necessário. Parada de produção de 6 horas
			Acoplamento danificado	Quebra/desgaste do cilindro de cobertura. Parada de produção de 4 horas
Sistema pneumático	Injetar antiaderente na cavidade	Falta de antiaderente	Bico de injeção de antiaderente entupido	Aumento de esforço em ambos os cilindros, levando a má formação do produto. Parada de produção de 2 horas
		Excesso de antiaderente	Excesso de pressão no sistema de ar por conta de alguma perda de carga na linha	Corrosão excessiva no conjunto, pois o antiaderente é corrosivo. Parada de produção de 2 horas
	Movimentar o flap	Não conseguir expulsar o fardo	Vazamento no sistema de ar	Colisão do fardo com o conjunto. Parada de produção de 8 horas
		Forçar o flap	Excesso de pressão no sistema de ar	Aumento de esforço e diminuição de vida útil. Parada de produção de 4 horas
	Ar de limpeza	Não limpar os finos de borracha do entorno da prensa	Vazamento no sistema de ar	Formação de pedaços de borracha que interferem no posicionamento da cobertura. Parada de produção de 2 horas
		Jogar finos de borracha na cavidade	Excesso de pressão no sistema de ar	Diminuição da qualidade do produto final. Parada de produção de 2 horas

## Apêndice II – Consequências de falha e tipos de atividade de manutenção da prensa

Modo de falha	Efeito de falha	Consequência de falha	Tipo de atividade de manutenção
Falha nos sensores de posição	Falha no ciclo pois falta a informação de que o cilindro chegou no fim de curso. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Falha em alguma solenoide dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Falha em algum elemento lógico dos blocos de controle	Falha no comando do cilindro. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Gaxeta com desgaste	Pressão hidráulica insuficiente para expulsar o fardo corretamente. Parada de produção de 4 horas	Oculto	Substituição programada
Parafuso do cilindro principal com desgaste	Quebra do parafuso. Parada de produção de 4 horas	Operacional	Substituição programada
Falta de pressão por falha em alguma bomba	Pressão hidráulica insuficiente para prensar o fardo corretamente. Parada de produção de 8 horas	Operacional	Manutenção preditiva
Conexões perderam aperto	Perda de pressão hidráulica. Parada de produção de 1 horas	Oculto	Teste/Inspeção Periódica
Mangueira com vazamento	Perda de óleo para o ambiente. Parada de produção de 2 horas	Segurança	Substituição programada
Falha de uma bomba hidráulica	Perda de pressão hidráulica. Parada de produção de 8 horas	Operacional	Manutenção preditiva
Baixa eficiência do resfriamento do óleo, diminuindo a viscosidade do óleo e aumentando o esforço das bombas	Trocador de calor com baixa eficiência. Parada de produção de 8 horas	Oculto	Restauração programada

Desgaste cunhas	Produto estrudado entre a cavidade e a cobertura por falta de vedação. Parada de produção de 2h	Oculto	Substituição programada
Mola quebrada	Cobertura encaixa torta na cavidade, podendo deixar gaps para a saída de produto. Parada de produção de 2 horas	Oculto	Teste/Inspeção Periódica
Desgaste dos trilhos	Interrupção no ciclo pois cobertura não chega no ponto necessário. Parada de produção de 8 horas	Operacional	Substituição programada
Falha em rolamento	Aumento do esforço do cilindro de cobertura, levando a aumento de temperatura do sistema hidráulico. Parada de produção de 6 horas	Oculto	Teste/Inspeção Periódica
Quebra do carro de avanço	Interrupção no ciclo pois cobertura não chega no ponto necessário. Parada de produção de 6 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Acoplamento danificado	Quebra/desgaste do cilindro de cobertura. Parada de produção de 4 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Bico de injeção de antiaderente entupido	Aumento de esforço em ambos os cilindros, levando a má formação do produto. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Restauração programada
Excesso de pressão no sistema de ar por conta de alguma perda de carga na linha	Corrosão excessiva no conjunto, pois o antiaderente é corrosivo. Parada de produção de 2 horas	Oculto	Manutenção corretiva
Vazamento no sistema de ar	Colisão do fardo com o conjunto. Parada de produção de 8 horas	Segurança	Modificação de projeto
Excesso de pressão no sistema de ar	Aumento de esforço e diminuição de vida útil. Parada de produção de 4 horas	Oculto	Manutenção corretiva
Vazamento no sistema de ar	Formação de pedaços de borracha que interferem no posicionamento da cobertura. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva
Excesso de pressão no sistema de ar	Diminuição da qualidade do produto final. Parada de produção de 2 horas	Operacional	Manutenção corretiva

### Apêndice III – Histórico de falhas do *flap* da prensa.

Ordem	Tipo de ordem	Data-base início	Texto breve	TAG	Tempo operação em dias
600002201517	PM04	17/12/2016	PR 25-01A Quebra Flap	PR 25-01A	-
600002267788	PM04	17/02/2017	Falha do Flap da Prensa A.	PR 25-01A	62
600002285832	PM04	06/03/2017	Flap da Pr 25-01 A desalinhado	PR 25-01A	17
600002362645	PM04	18/05/2017	Falha do sensor do Flap da Prensa.	PR 25-01A	73
600002428869	PM04	21/07/2017	Falha do sensor do Flap da Prensa.	PR 25-01A	64
600002431116	PM03	01/08/2017	Falha do sensor do Flap da Prensa.	PR 25-01A	11
600002642531	PM04	02/02/2018	Falha do sensor do Flap prensa A.	PR 25-01A	185
600002779092	PM03	11/06/2018	Falha sensor do Flap.	PR 25-01A	129
600002815002	PM03	11/07/2018	Sensor do Flap em falha.	PR 25-01A	30
600002843097	PM04	02/08/2018	Falha sensor do Flap.	PR 25-01A	22
600003130857	PM04	25/03/2019	FALHA NO SENSOR DE FLAP	PR 25-01A	235
600003640118	PM03	24/08/2020	Conexão do pistão do flap.	PR 25-01A	518