

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

HENRIQUE BARONI RAZENTE

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DECISÓRIO AHP PARA AUXILIAR NA
TOMADA DE DECISÃO DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO
INDUSTRIAL: ESTUDO DE UM CASO EM UMA EMPRESA
ALIMENTÍCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2017

HENRIQUE BARONI RAZENTE

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DECISÓRIO AHP PARA AUXILIAR NA
TOMADA DE DECISÃO DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO
INDUSTRIAL: ESTUDO DE UM CASO EM UMA EMPRESA
ALIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Guarapuava.

Orientadora: Profa. Dra. Marjorie Maria Belinelli

Coorientador: Prof. Msc. Marcel Matsuzaki da Silva

GUARAPUAVA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DO MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO AHP PARA AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA ALIMENTÍCIA

por

HENRIQUE BARONI RAZENTE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 08 de Agosto de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Marjorie Maria Belinelli
Orientadora

Prof. Msc. Marcel Matsuzaki da Silva
Membro titular

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por todo o apoio ao enfrentar os medos, incertezas e dificuldades em minha trajetória.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante.

Gostaria de agradecer também, a minha orientadora Profa. Dra. Marjorie Belinelli pelos ensinamentos, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Ao Professor Msc. Marcel Matsuzaki da Silva pela coorientação e suporte nas discussões acerca dos conceitos do método decisório AHP.

Ao Prof. Dr. Marcelo Rodrigues por todas as contribuições com este trabalho. E a todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

E por fim agradeço ao mundo por mudar as coisas, por nunca fazê-las serem da mesma forma, pois assim não teríamos o que pesquisar, o que descobrir e o que fazer, pois através disto consegui concluir a minha pesquisa.

Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são as nossas dúvidas e hesitações de hoje.

(Franklin D. Roosevelt)

RESUMO

RAZENTE, Henrique Baroni. **Aplicação do método decisório AHP para auxiliar na tomada de decisão da gestão da manutenção industrial:** estudo de caso em uma empresa alimentícia. 2017. 108 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

O setor de alimentos no Brasil obteve em 2016, um faturamento líquido de R\$ 497 bilhões (ABIA,2017). Aproximadamente 2,6% desse faturamento (equivalente a R\$ 12,9 bilhões) foi gasto em manutenção dos ativos industriais das empresas do ramo de alimentos (ABRAMAN,2015). Para garantir o pleno funcionamento dos ativos industriais e conseqüentemente aumentar a produtividade, a gestão de manutenção deve gerenciar seus recursos técnicos, humanos e financeiros de maneira efetiva, que garanta a confiabilidade e disponibilidade operacional do sistema industrial. Logo, a aplicação de métodos matemáticos decisórios, durante o planejamento das atividades de manutenção, direcionam para tomada de decisão assertiva. O presente trabalho visa aplicar o método hierárquico decisório AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para auxiliar na tomada de decisão quanto a seleção das apropriadas técnicas e estratégias de manutenção a serem aplicadas em uma máquina cobrideira, que é empregada no processo produtivo de uma indústria localizada na região sul do Brasil. Como resultado obteve-se a classificação ordenada das estratégias de manutenção definidas para a máquina cobrideira. A manutenção autônoma foi estabelecida como a estratégia prioritária, apresentando valor de desempenho de 0,300, isto se deve a ações intrínsecas a essa estratégia, como: LPP, Instrução de Trabalho (IT), limpeza e inspeção que corroboram com a necessidade de evitar focos de contaminação do produto.

Palavras-chave: AHP método multicritério de análise, Manutenção industrial, tomada de decisão, indústria alimentícia.

ABSTRACT

RAZENTE, Henrique Baroni. **Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for decision making in industrial maintenance management:** case study in a food company. 2017. 108 pages. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

The Brazilian food industries obtained a net annual billing of R\$ 497 billion in the year 2016 (ABIA, 2017). According to ABRAMAN - Brazilian Maintenance Association, approximately 2.6% of this billing (equivalent to R\$ 12.9 billion) was spent on industrial assets maintenance activities. To ensure the industrial assets optimum operating performance, and consequently increase industrial productivity, the maintenance management must plan maintenance activities so that financial, materials and human (maintenance technicians) resources are optimized, that is, that it results in a balance between the applied resources and the results sought by maintenance engineering: as guarantee of reliability and availability operational. This article demonstrates the AHP multi criteria analysis method application for decision making as to the selection of appropriate maintenance techniques and strategies to a enrobing machine, industrial asset that is part of a food industry located in the region South of Brazil. As a result, the ordered classification of the maintenance strategies defined for the blanketing machine was obtained. Autonomous maintenance was established as the priority strategy, presenting a performance value of 0.300, due to intrinsic actions from this maintenance policy such as: LPP, Work Instruction (IT), cleaning and inspection that corroborate the need to avoid outbreaks of contamination of product.

Keywords: AHP multi criteria analysis method, Industrial Maintenance, Decision makin, Food Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de Formulário para a aplicação da análise FMEA.....	24
Figura 2 - Gastos com manutenção em relação ao tempo de operação do maquinário.....	25
Figura 3 - Exemplo de aplicação do método AHP.....	31
Figura 4 - Protocolo de pesquisa.....	39
Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo.....	45
Figura 6 - Leiaute da linha de produção no formato de Ligação em Série.....	47
Figura 7 - Árvore Funcional da máquina cobrideira.....	49
Figura 8 - (a) Gráfico de Gráfico $\rho(t)$ – (b) Gráfico de $A(t)$ da Máquina Cobrideira de 2010 a 2014.....	52
Figura 9 - (a) Gráfico dos Valores de $MTBF(t)$, (b) Gráfico de $MTTR(t)$ e TTR 's dos Eventos de Falhas Ocorridos entre 2010 e 2014.....	54
Figura 10 - Árvore hierárquica com as variáveis de composição do método AHP....	60
Figura 11 - Árvore de resultados.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação dos recursos na manutenção.....	16
Tabela 2 - Custos com manutenção por tipo de indústria.	17
Tabela 3 - Custos com manutenção no Brasil.....	26
Tabela 4 - Pesos relativos aos julgamentos do método AHP.....	30
Tabela 5 - Eventos de falha.....	55
Tabela 6 - Custo com manutenção corretiva por serviço/material – máquina cobrideira (2010-2014)	57
Tabela 7 - Custo com manutenção corretiva anual (serviços de lubrificação) – máquina cobrideira (2010-2014).....	57
Tabela 8 - Julgamentos relativos às comparações entre as categorias à luz do objetivo de aplicação do método (Especialista 1).....	63
Tabela 9 - Julgamentos relativos às comparações entre os critérios à luz da categoria de perda de inocuidade do produto (Especialista 1).....	64
Tabela 10 - Julgamentos das alternativas à luz do critério Erro Humano (Especialista 2).....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Indicadores de custos aplicados na manutenção.....	27
Quadro 2 - Principais indicadores de desempenho de manutenção utilizado neste trabalho.	28
Quadro 3 - RI (Random index - Índice aleatório).....	33
Quadro 4 - Metodologia da pesquisa (quadro resumo).	37
Quadro 5 - Estudos correlatos.....	42
Quadro 6 - Serviços relacionados ao problema de entupimento de tubulação.	56
Quadro 7 - Justificativa das variáveis utilizadas na composição do método AHP.....	61
Quadro 8 - Caracterização dos especialistas.	62
Quadro 9 - Resultado das alternativas para os especialistas.....	67
Quadro 10 - Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 1.	68
Quadro 11 - Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 2.	68
Quadro 12 - Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 3.	69
Quadro 13 - Agregação de Julgamento (AIP).	71
Quadro 14 - Classificação geral das estratégias de manutenção.	71

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
ABIA	Associação Brasileira das Industrias da Alimentação
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIP	Aggregating Individual Judgments
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CI	Consistency Index
CR	Consistency Ratio
DIN	Deutsches Institut für Normung
E1	Especialista 1
E2	Especialista 2
E3	Especialista 3
FMEA	Failures Mode and Effect Analysis
IT	Instrução de Trabalho
LPP	Lição Ponto a Ponto
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MPI	Maintenance Performance Indicators
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NBR	Norma Brasileira
PIB	Produto Interno Bruto
PMS	Performance Measurement System
RI	Random Index
TPM	Total Productive Maintenance
TTR	Time to Repair

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	14
1.1.1 Delimitação do Tema	14
1.2 OBJETIVO GERAL	14
1.2.1 Objetivos Específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO.....	20
2.1.1 Manutenção Corretiva.....	21
2.1.2 Manutenção Preventiva	21
2.1.3 Manutenção Preditiva	22
2.1.4 Manutenção Autônoma.....	22
2.1.5 Tratativa de Falhas com Utilização da Análise FMEA	23
2.2 CUSTOS REFERENTES AO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	25
2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO	27
2.4 IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA NO PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO	28
2.5 MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO - AHP	29
2.5.1 Obtenção do Vetor Prioridade	31
2.5.2 Avaliação de Consistência dos Dados.....	32
2.5.3 Agregação de Julgamento	33
2.5.4 Método Hierárquico Decisório AHP Aplicado na Tomada de Decisão em Estratégias de Manutenção Industrial.....	35
3 MÉTODOS E MATERIAIS.....	37
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	37
3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA.....	38
3.3 TRABALHOS CORRELATOS.....	41
4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	44
4.1 APRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ALIMENTOS	44
4.2 ANÁLISE DE INDICADORES, CUSTO E PARTICULARIDADES DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DA COBRIDEIRA.....	51
4.3 VARIÁVEIS DE COMPOSIÇÃO PARA O MÉTODO HIERÁRQUICO AHP	58
4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO AHP.....	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	74
6.1 CONCLUSÃO	74
6.2 RECOMENDAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS	75
REFERÊNCIAS.....	77

APÊNDICE A - Eventos de falha da máquina cobrideira	83
APÊNDICE B - Matrizes de comparação (Especialista 1)	93
APÊNDICE C - Matrizes de comparação (Especialista 2)	98
APÊNDICE D - Matrizes de comparação (Especialista 3)	103

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial não objetiva somente garantir o funcionamento adequado de máquinas e equipamentos, mas também, busca desempenhar um papel fundamental para alcançar as metas e objetivos da empresa, melhorando a produtividade e rentabilidade das instalações industriais (AL-NAJJAR, 2004; ENOFE, AIMIENROVBIYE, 2010).

Uma adequada gestão da manutenção visa aplicar técnicas e estratégias (preventiva, preditiva e corretiva) de acordo com a funcionalidade de cada ativo industrial, garantindo assim o máximo desempenho e produtividade do maquinário, conjuntamente com a preservação do seu tempo de vida.

Assim, há uma necessidade de gerenciar as atividades de manutenção industrial com eficácia, de tal forma que, seja possível influenciar positivamente na qualidade do produto, segurança do trabalho, rentabilidade financeira, disponibilidade e confiabilidade operacional do sistema industrial (SIMEU-ABAZI, 2001; DHILLON, 2006; KUMAR et al., 2013).

Porém, a gestão inadequada das estratégias de manutenção pode provocar prejuízos como: baixa produtividade, redução da disponibilidade operacional e aumento dos custos devido ao aumento da taxa de falha e outros fatores como a busca por entender onde estão as não conformidades do processo. A indisponibilidade dos equipamentos gera custos decorrentes da perda de produção, da não qualidade dos produtos e das consequências geradas a partir desses fatores (MARCORIN; LIMA, 2003).

A aplicação de métodos decisórios para seleção das estratégias de manutenção, mediante a necessidade de cada ativo industrial, faz-se necessária para maximizar os recursos financeiros, materiais, mão de obra e reduzir a taxa de falhas, conferindo confiabilidade e disponibilidade operacional ao sistema produtivo, bem como otimizar os custos aplicados nas atividades de manutenção industrial.

O presente trabalho visa aplicar o método hierárquico decisório AHP (Analytic Hierarchy Process) para auxiliar na tomada de decisão quanto a seleção das apropriadas técnicas e estratégias de manutenção a serem empregadas para uma máquina cobrideira, a qual está instalada em uma planta fabril localizada na região sul do Brasil.

1.1 TEMA

Utilizar o método hierárquico decisório AHP na tomada de decisão para escolha da adequada estratégia de manutenção para ativos industriais aplicados na fabricação de alimentos.

1.1.1 Delimitação do Tema

Determinar uma matriz decisória (resultado da aplicação do AHP) que identifique a adequada estratégia de manutenção, para a máquina cobrideira de alimentos.

1.2 OBJETIVO GERAL

Aplicar o método hierárquico decisório AHP para selecionar as apropriadas técnicas e estratégias de manutenção para uma máquina cobrideira de alimentos.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, faz-se necessário executar os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar a revisão da literatura acerca do tema do trabalho;
- Apresentar o fluxo do processo produtivo para compreensão dos modos de operação e manutenção da máquina cobrideira;
- Levantar dados referentes às atividades de manutenção executados na máquina cobrideira;
- Utilizar método hierárquico decisório AHP para estabelecer as estratégias de manutenção adequada;
- Apresentar os resultados por meio da matriz decisória;

- Analisar os resultados para selecionar a adequada estratégia de manutenção para a máquina cobrideira.

1.3 JUSTIFICATIVA

A implantação de um programa de gestão de manutenção está relacionada a uma das formas de se obter maior desempenho operacional das instalações industriais e, conseqüentemente melhoria do sistema produtivo. Com a evolução rápida dos sistemas industriais, as estratégias de manutenção devem evoluir periodicamente para suportar as mudanças dos processos produtivos (WAEYENBERGH; PINTELON, 2002; SELLITTO; FACHINI, 2014).

Rodríguez-Padial et al. (2015), enfatizam que para acompanhar a evolução dos ativos industriais e assim melhorar a produtividade, faz-se necessária a aplicação de métodos que auxiliem no planejamento de manutenção, pois a adequada gestão da manutenção industrial é a chave para garantir que o maquinário seja capaz de desempenhar sua função definida no projeto sem falhas, ou seja, garante confiabilidade ao sistema industrial. Logo, métodos de decisão para dar suporte à gestão da manutenção devem ser aplicados como função estratégica empresarial.

De maneira a complementar essa ideia, Hailemariam (2009) cita que o objetivo da gestão da manutenção é melhorar a eficiência das técnicas e práticas de manutenção, impactando positivamente na capacidade de produção, qualidade dos produtos, segurança e custo. Para que isso ocorra, o sistema de gestão da manutenção deve ser planejado adequadamente.

Mediante dados de 2013 fornecidos pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), no estudo intitulado “A situação da manutenção no Brasil”, o país investe em torno de 4,5% do PIB em atividades de manutenção. Parte deste valor é gasto para corrigir falhas crônicas, manutenção deficiente (isto inclui gestão inadequada), falhas no projeto e erro de operação. A Tabela 1 mostra os dados referentes à distribuição dos recursos da manutenção aplicados nas estratégias de manutenção dentro das indústrias brasileiras entre os anos de 1995 e 2013 (ABRAMAN, 2013).

Tabela 1 - Aplicação dos recursos na manutenção

Ano	Manutenção Corretiva(%)	Manutenção Preventiva(%)	Manutenção Preditiva(%)	Outros(%)
2013	30,86	36,55	18,82	13,77
2011	27,40	37,17	18,51	16,92
2009	26,69	40,41	17,81	15,09
2007	25,61	38,78	17,09	18,52
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56

Fonte: Adaptado do Documento Nacional, ABRAMAN (2013).

Com base nos dados dispostos na Tabela 1, verifica-se uma variação ao longo dos anos de 1995 a 2013 quanto à aplicação dos recursos da manutenção para realização dos tipos de atividades preventiva, corretiva e preditiva, entre outros. Na maioria dos anos os maiores índices de manutenção abrangem técnicas preventivas, seguidas por técnicas corretivas. A estratégia de manutenção preventiva, a qual é baseada no tempo, vem apresentando um custo elevado para garantir confiabilidade operacional dos sistemas industriais, visto que a maioria dos itens é substituída prematuramente, apesar de ter vida útil remanescente (KHANLARI et al. 2007).

Mobley (2004) enfatiza que a manutenção corretiva abrange o método mais caro de gestão de manutenção. As principais despesas associadas a este tipo de gestão englobam o alto custo de peças de reposição em estoque, os custos do trabalho de horas extra, o alto tempo de inatividade da máquina e a baixa disponibilidade de produção.

Logo a tomada de decisão de forma inadequada para gerir a manutenção gera custos e redução do desempenho do maquinário, isto não ocorre de forma diferente do ambiente industrial alimentício, que além de realizar manutenção de maneira eficiente, deve alcançar padrões ótimos de qualidade, evitando a contaminação de seus produtos. A Tabela 2 mostra o custo aplicado nas estratégias de manutenção por tipo de indústria.

Tabela 2 - Custos com manutenção por tipo de indústria.

Setores	Custo Manutenção/ Faturamento (%)	Custo Manutenção/ Valor Imobilizado (%)	Custo relativo Pessoal próprio (%)	Custo relativo ao Material (%)	Custo Relativo à contratação (%)
Açúcar e Alcool, Alimentício e Bebidas	2,60	3,75	34,17	38,33	25,42
Aeronáutico e Automotivo	1,00	3,00	30,63	29,38	13,75
Eletroeletrônicos	1,67	2,33	15,00	26,25	11,67
Energia Elétrica	5,00	3,80	29,64	21,07	29,64
Farmacêutico e Hospitalar	1,80	1,50	11,50	25,00	18,50
Fumo, Industrial e Plástico	2,33	4,10	31,25	37,50	26,67
Metalúrgico	3,17	3,88	39,17	34,17	10,00
Mineração e Siderúrgico	4,00	3,00	27,50	22,50	22,50
Papel e celulose	3,20	2,60	24,50	21,50	29,50
Petróleo	5,22	4,86	23,61	11,67	41,94
Petroquímico	5,50	5,50	20,63	25,00	28,13
Predial e Prestação de Serviços	3,75	3,72	28,50	16,75	16,75
Químico e Saneamento	1,50	3,25	23,00	31,00	37,00
Total	3,31	3,58	26,85	25,07	24,93

Fonte: Adaptado de Documento Nacional, ABRAMAN (2015).

O setor de alimentos no Brasil obteve em 2016, um faturamento líquido de R\$ 497 bilhões (ABIA, 2017). Aproximadamente 2,6% desse faturamento (equivalente a R\$ 12,9 bilhões) foi gasto em manutenção dos ativos industriais das empresas do ramo de alimentos (ABRAMAN, 2015). Este valor comparado com indústrias de ponta e alto nível tecnológico, como o setor aeronáutico e automotivo (os quais apresentam para o mesmo critério um valor de 1%), é um valor elevado, que pode estar escondendo problemas de gestão da manutenção relacionados ao seu inadequado planejamento.

Conforme Smith e Mobley (2003), muitos gestores negligenciam a gestão da manutenção pois não acreditam que as estratégias de manutenção possam impactar diretamente na rentabilidade de uma organização. Porém, é inegável que adequadas estratégias de manutenção aplicadas aos ativos industriais possam trazer benefícios quanto à disponibilidade operacional, produtividade conjuntamente com a redução de custos industriais.

Vários atributos devem ser levados em consideração ao selecionar o tipo de manutenção, sendo que esta seleção deve envolver aspectos como o investimento necessário, segurança, problemas ambientais, custos de falhas e a confiabilidade. (BEVILACQUA, BRAGLIA, 2000).

Assim para a análise e seleção das adequadas estratégias de manutenção de cada ativo industrial, deve-se aplicar métodos decisórios matemáticos, uma vez que esses direcionam para uma assertiva tomada de decisão na gestão das atividades de manutenção e otimização de recursos aplicados na execução.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, com as seguintes estruturas de tópicos:

- I. **Capítulo 1:** este capítulo engloba a introdução acerca do tema, delimitação do tema, objetivo geral e específico, justificativa da pesquisa, conjuntamente com a estrutura do trabalho.
- II. **Capítulo 2:** apresenta-se, de forma detalhada, o referencial teórico sobre manutenção industrial, contemplando os tipos de manutenção, os custos de manutenção, os indicadores de confiabilidade e os impactos da inadequada gestão de manutenção e planejamento sobre os indicadores de desempenho de manutenção. Também é abordado o método decisório AHP descrito em um panorama geral.
- III. **Capítulo 3:** este capítulo compõe a descritiva do método para a realização do presente trabalho, contendo o enquadramento do tema de pesquisa dentro da grande área das Engenharias III (que engloba a Engenharia Mecânica) conjuntamente com a construção do protocolo de pesquisa referente às etapas do presente trabalho.
- IV. **Capítulo 4:** este capítulo aborda o estudo de caso, realizado na empresa em estudo (ramo alimentício), onde é feito o levantamento dos dados a serem utilizados na pesquisa. Tais dados contemplam o mapeamento do sistema

produtivo analisado, as falhas ocorridas na máquina cobrideira e a definição das variáveis a serem utilizadas para aplicação do método de hierarquia decisório AHP.

- V. **Capítulo 5:** estrutura-se a análise dos resultados e discussões da pesquisa.
- VI. **Capítulo 6:** são descritas as conclusões e recomendações de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Conforme a NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (1994) e a norma DIN EN 13306 - Maintenance Terminology (2010), a manutenção combina todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, destinadas a serem aplicadas ao ciclo de vida de um item, com o intuito de manter este bem em estado de desempenhar sua função requerida com a missão de alcançar e sustentar a ótima disponibilidade dos equipamentos. A gestão da manutenção deve maximizar a disponibilidade e a confiabilidade dos ativos e equipamentos para produzir a quantidade desejada de produtos, com as especificações de qualidade exigidas. Este objetivo deve ser atingido de forma rentável e em conformidade com as normas ambientais e de segurança (DHILLON, 2002; MOBLEY, 2004; KOBACZY; MURTHY, 2008).

Em muitas indústrias ainda não há a realização de técnicas de manutenção adequadas ao processo fabril. Isso ocorre por fatores simples, como não haver a preocupação com um planejamento de manutenção, visto que esse geralmente é dispendioso e trabalhoso. Ainda há empresas que se preocupam em fazer o básico da manutenção preventiva, mesmo sem um específico planejamento, como a troca de óleo de alguns equipamentos após determinadas horas de uso.

Kobbacy, Murthy (2008) e Matos (2008) corroboram que a manutenção impacta na confiabilidade dos equipamentos, com sérias implicações econômicas e comerciais, o que implica que a manutenção deve ser vista a partir de uma perspectiva que integra questões técnicas e comerciais de maneira eficaz. A utilização e o desenvolvimento da manutenção aumentam a disponibilidade e o desempenho do equipamento, mas por outro lado aumenta os custos de operação.

Em suma, a manutenção industrial utiliza ações técnicas e de gestão para manter os ativos industriais operando em seu determinado funcionamento, visando garantir disponibilidade e confiabilidade para os sistemas industriais.

2.1 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Para Bevilacqua e Braglia (2000), um bom programa de manutenção deve definir estratégias diferentes para diferentes máquinas num processo fabril. Neste

trabalho serão descritas cinco estratégias de manutenção, sendo elas a manutenção corretiva, a manutenção preventiva, a manutenção preditiva, a manutenção autônoma e tratativa de falhas utilizando a análise FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos). A seguir detalham-se as estratégias de manutenção supracitadas.

2.1.1 Manutenção Corretiva

Uma parte importante dos esforços da organização de manutenção é gasta com manutenção corretiva. Trata-se de um fator importante na efetividade da organização da manutenção, sendo esta normalmente correspondente a uma ação de manutenção não programada, proveniente de falhas imprevisíveis. A manutenção corretiva abrange ações executadas após o surgimento da falha, visando repor o ativo em estado de funcionamento (DHILLON, 2002; KOBACZY; MURTHY, 2008).

Conforme Mobley (2004), as atividades de manutenção corretiva solicitam a gestão de sobressalentes para o departamento de manutenção, faz-se necessário que haja inventários constantes de peças de reposição, que aliado a outros fatores como a falta de previsão quanto à ocorrência de falhas e ao elevado custo de reposição do estoque, provém uma menor disponibilidade para as máquinas do processo.

2.1.2 Manutenção Preventiva

Para Braglia (2000) e Kobacy, Murthy (2008), a manutenção preventiva é baseada em características de confiabilidade dos componentes, o que permite analisar o comportamento do elemento em questão, sendo possível definir um programa de manutenção periódico para a máquina de maneira a evitar paradas não programadas, o que resultaria em atividades corretivas ou de reparação. A manutenção preventiva se destina a realizar a reparação ou troca de componentes dos equipamentos com base no tempo de uso, na idade do equipamento ou em sua condição de operação.

2.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva consiste na atitude de utilizar a condição real de operação de equipamentos da planta para otimizar sua operação total. Para isso, é realizado o acompanhamento regular da condição mecânica das máquinas, o que deve garantir o intervalo máximo entre os reparos, de maneira a minimizar o número e o custo de interrupções não programadas devido a falhas. Os dados obtidos a partir do monitoramento ou acompanhamento das condições de operação dos equipamentos podem ser utilizados para compreender o grau de certeza de seu padrão de degradação, o que melhora a eficácia da manutenção preditiva no sentido de confiabilidade (MOBLEY, 2004; KUMAR; CHATURVEDI, 2009).

Para Mobley (2002), um programa abrangente de manutenção preditiva deve incluir técnicas de monitoramento e diagnóstico que incluem o monitoramento de vibração, termografia, tribologia, parâmetros de processo, inspeção visual, ultra-som e outras técnicas de testes não destrutivos.

2.1.4 Manutenção Autônoma

Para que um sistema produtivo mantenha sua função requerida, as práticas de manutenção envolvidas devem ser bem estruturadas. Para que isto ocorra, uma das ferramentas ou metodologias que podem ser utilizadas é a Manutenção Produtiva Total - TPM (Total Productive Maintenance) (BARTZ et al., 2014).

A TPM foi desenvolvida no Japão na década de 1970 e foi responsável por aumentar a eficiência e o lucro de várias indústrias japonesas. É uma filosofia que busca a participação de todos os membros da empresa, envolvendo vários setores como engenharia, operação de máquinas e manutenção, interagindo desde os níveis hierárquicos menores até os maiores da empresa (BEN-DAYA, 2000).

Esta metodologia é sustentada por oito pilares: manutenção autônoma; manutenção de qualidade; manutenção preventiva; controle administrativo; melhorias específicas; segurança, saúde e meio ambiente; treinamento e educação; controle inicial. A manutenção autônoma dá aos funcionários envolvidos no processo de produção a autonomia para atuar diretamente na manutenção dos equipamentos, aumentando a responsabilidade e a moral do colaborador, o que influencia no

aumento da qualidade de seu trabalho, com a ideia de que “do meu equipamento cuidou eu” (BARTZ et al., 2014; HOOI et al., 2017).

2.1.5 Tratativa de Falhas com Utilização da Análise FMEA

A interrupção do funcionamento do maquinário devido a eventos de falhas aleatórios afeta a disponibilidade operacional do processo produtivo. Uma das principais ferramentas utilizadas na tratativa desses eventos de falhas é a análise FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – Análise de Modo e Efeito de Falhas (AHMED QADDER; KHAN; AHMED SALIM, 2014).

Essa ferramenta busca identificar as causas e efeitos dos modos de falha, levando em consideração as variáveis de severidade, ocorrência e detecção das falhas. O índice calculado utilizando a ordem de grandeza dessas variáveis aponta para o grau de criticidade do modo de falha relacionado ao processo produtivo (KUMAR, 2005; CAPIZZI, 2010).

Para efetuar a análise de falhas por meio da ferramenta FMEA, segue-se as etapas:

- I. Estruturar a árvore funcional do ativo, o que facilita a identificação e a visualização da interação de cada componente do maquinário;
- II. Identificar o modo de falha, por meio de histórico de falhas, análise de projeto e a experiência profissional dos profissionais envolvidos com o FMEA;
- III. Analisar o efeito das falhas no processo produtivo;
- IV. Identificar a principal causa que ocasiona cada evento de falha;
- V. Atribuir “pesos” para as variáveis de severidade, ocorrência e detecção da falha, formando o índice RPN, obtido pelo produto dessas três variáveis;
- VI. Estruturar as atividades de manutenção adequadas para buscar eliminar a causa raiz do modo de falha analisado.

A Figura 1 ilustra um modelo de formulário para aplicação da análise FMEA.

FMEA - MODO DE ANÁLISE E EFEITO DE FALHA																					
Sistema _____								FMEA Número _____													
Subsistema _____								Página _____ de _____													
Componente _____		Responsável _____						Desenvolvido por _____													
Modelo/ano _____		Data limite _____						Data (Orig) _____ (Rev) _____													
Equipe de Trabalho _____																					
Subsistema Função Requerida	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Severidade Classificação	Causas Potenciais/ Mecanismos de Falha	Ocorrências	Controles Existentes		Detecção R.P.N.	Ações Recomendadas	Responsabilidade & Objetivos	Resultados das Ações										
						Prevenção	Detecção				Ações adotadas	Severidade	Ocorrências	Detecção	R.P.N.						
		Quais são os Efeitos?		O quanto isto é ruim?						O que pode ser feito? - Mudança de projeto - Mudança de processo - Controles especiais - Mudanças de normas, procedimentos ou manuais.											
Quais são as funções, características ou requerimentos				Quais são as causas?																	
	O que pode dar errado? - Sem função - Função degradada parcial ou completamente - Função intermitente - Função sem responsável																				

Figura 1 – Modelo de Formulário para a aplicação da análise FMEA.
Fonte: BELINELLI, 2015.

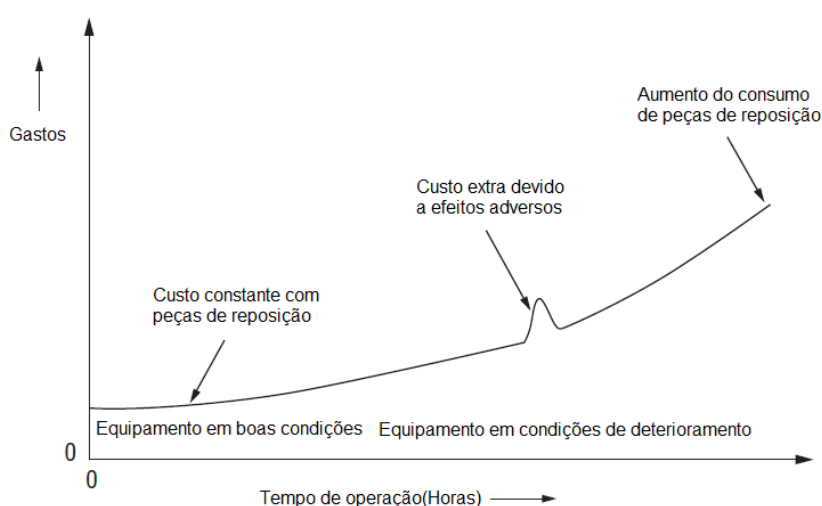
O processo resultante fornece a justificativa racional das tarefas de manutenção preventiva por meio do seu direcionamento baseado no conhecimento dos modos de falha dos equipamentos (SMITH, 1993; BEN-DAYA, 2000; KIANFAR, 2010; FORE, 2011).

A aplicação da análise FMEA no processo de análise de falhas facilita a tomada de decisão quanto a execução das atividades de manutenção para reduzir ou eliminar os eventos de falhas garantindo confiabilidade e disponibilidade operacional no sistema produtivo.

2.2 CUSTOS REFERENTES AO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Os custos de manutenção podem aumentar de forma constante, caso haja deficiência nas atividades de manutenção, esta deficiência provoca a deterioração dos ativos industriais, e assim, necessita cada vez mais de recursos empregados para mantê-los em operação.

A Figura 2 mostra os custos de uma estratégia de manutenção preventiva, onde os gastos estão relacionados ao aumento de trabalho e ao número de peças de reposição de acordo com o tempo de operação da máquina.



**Figura 2 - Gastos com manutenção em relação ao tempo de operação do maquinário.
Fonte: Adaptado de MOBLEY (2002).**

Verifica-se que ao longo do tempo de vida de operação dos equipamentos, os custos com manutenção aumentam para manter as mesmas funções do maquinário disponíveis para o setor de produção.

Mediante dados fornecidos pela ABRAMAN (2013), os custos de manutenção crescem a cada ano. Isto pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Custos com manutenção no Brasil

Ano da Pesquisa	Ano Base	PIB (Milhões de Reais)	Custo total de Manutenção/ Faturamento Bruto (%)	Custo (Milhões de Reais)
2013	2012	4.403.000	4,69	206.500,70
2011	2010	3.675.000	3,95	145.162,50
2009	2008	2.900.000	4,14	120.060,00
2007	2006	2.322.000	3,89	90.325,80
2005	2004	1.769.202	4,1	72.537,28
2003	2002	1.346.028	4,27	57.475,40
2001	2000	1.101.255	4,47	49.226,10
1999	1998	914.188	3,56	32.545,09
1997	1996	778.887	4,39	34.193,14
1995	1994	349.205	4,26	14.876,13

Fonte: Adaptado do Documento Nacional sobre a situação da manutenção no Brasil, ABRAMAN (2013).

Verifica-se que do ano de 1995 a 2013 houve um aumento de aproximadamente R\$ 191 bilhões aplicados na manutenção industrial. Só nos últimos três anos da pesquisa (2009, 2011 e 2013), foram gastos juntos aproximadamente R\$ 472 bilhões, isto representa 134% do total dos custos com manutenção entre os anos anteriores (1995 a 2007).

Estes dados mostram que há necessidade de uma melhoria no gerenciamento dos recursos aplicados na manutenção, visando otimizar estes recursos conjuntamente com a redução dos custos.

Os principais indicadores de custos aplicados à manutenção, conjuntamente com suas respectivas equações para calculá-los são: custo de manutenção por produção (Equação 1), custo de manutenção por hora (Equação 2) e material utilizado por ordem de serviço (Equação 3). Estes indicadores são mostrados no Quadro 1, apresentado a seguir (BEN-DAYA et al., 2009; MUCHIRI, PINTELO, 2011).

Indicador	Definição	Equação
Custo de manutenção por produção	Indica uma medida em porcentagem da relação entre custo de manutenção e custo de produção	$\frac{\text{Custos Totais de Manutenção}}{\text{Custos Totais de produção}} \quad (1)$
Custo de manutenção por hora	Indica o valor monetário de custo por tempo de manutenção	$\frac{\text{Custo Total de Manutenção}}{\text{Número total de horas de Manutenção}} \quad (2)$
Material utilizado por ordem de serviço	Indica o valor monetário do material de manutenção utilizado em cada ordem de serviço	$\frac{\text{Custo total do Material}}{\text{Número de ordens de serviço}} \quad (3)$

Quadro 1 - Indicadores de custos aplicados na manutenção.
Fonte: Adaptado de BEN-DAYA et al. 2009, MUCHIRI, PINTELON (2011).

Para Al-Najjar (2007), Khanlari, Mohammadi e Sohrabi (2008), a importância no gerenciamento de custos na manutenção está relacionada com a melhoria de rentabilidade e competitividade da empresa.

Os indicadores de custos são importantes para que se possa mensurar o desempenho da empresa e verificar se os recursos da manutenção estão sendo empregados de maneira eficiente.

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO

O sistema de medição de desempenho ou PMS (Performance Measurement System) é o processo que integra a medição de desempenho de todos os níveis dentro da organização, buscando a melhoria contínua de desempenho em relação aos objetivos organizacionais. Esse processo estabelece medidas de indicadores que mostram como os objetivos da organização estão sendo atendidos (MOBLEY 2014).

Para Parida, Kumar (2006) e Parida (2007), a utilização de qualquer PMS destina-se a satisfazer as necessidades das operações e processos de manutenção. Os indicadores de desempenho de manutenção, ou MPI (Maintenance Performance Indicators), são utilizados para avaliar a eficácia da manutenção executada.

Uma estratégia de manutenção adequada deve ser adaptada para alcançar os níveis ótimos de produção (BEN-DAYA et al., 2009). O Quadro 2 apresenta os

principais indicadores de desempenho de manutenção, conjuntamente com suas respectivas equações para calculá-los, utilizados para realização do presente trabalho.

Indicador	Definição	Equação
Tempo médio para reparo (MTTR)	Mede, em horas, o tempo necessário para realizar o reparo na máquina	$\frac{\text{Tempo total de Reparo}}{\text{Número total de falhas}}$ (4)
Tempo médio entre falhas (MTBF)	Indica, em horas, uma medida de confiabilidade relacionada ao tempo entre uma falha e outra	$\frac{\text{Horas de operação}}{\text{Número de falhas}}$ (5)
Disponibilidade (A)	Mede, em porcentagem, o tempo em que um equipamento está disponível para exercer sua função	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ (6)

Quadro 2 - Principais indicadores de desempenho de manutenção utilizado neste trabalho.
Fonte: Adaptado de BEN-DAYA et al. (2009), MUCHIRI, PINTELON (2011).

Os indicadores de manutenção se fazem importantes para verificar a relação entre os resultados do processo de manutenção, sendo útil para avaliar a contribuição da manutenção na empresa (PARIDA et al., 2015).

2.4 IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA NO PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO

Mediante dados de 2013 fornecidos pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), estudo intitulado “A situação da manutenção no Brasil”, o país investe em torno de 4,5% do PIB (cerca de R\$ 207 bilhões) em atividades de manutenção. Parte deste valor é gasto para corrigir falhas crônicas, manutenção deficiente, falhas no projeto e erros de operação.

O custo associado com a manutenção tem aumentado constantemente ao longo das décadas, de maneira que atualmente, os custos com manutenção variam entre 15% e 70% dos custos de produção. (ILANGKUMARAN; KUMARAN, 2012).

Devido às incertezas e ineficiências envolvidas no planejamento de manutenção, quase um terço dos custos de manutenção são desperdiçados. Apesar

da utilização das melhores estratégias de manutenção, os gerentes de manutenção enfrentam falhas e paradas nas plantas industriais, o que leva a parada das operações de produção (MOBLEY, 2002; VERMURUBAN; DHINGRA, 2015).

Narayan (2012) e Vermuruban, Dhingra (2015) enfatizam que a competência e o comportamento humano podem afetar diretamente o equipamento e com isso o desempenho do processo produtivo. Os impactos decorrentes da função manutenção são influenciados pela política de manutenção adotada, ou seja, a seleção das estratégias de manutenção apropriadas (ou a combinação dessas) podem trazer benefícios financeiros como também, quando inadequadamente aplicados, ocasionar aumento de custo e falhas.

Desta maneira, o planejamento de manutenção deve ser adequadamente aplicado, para que seja possível impactar positivamente no processo produtivo, garantindo disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos industriais.

2.5 MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO - AHP

O método hierárquico decisório AHP (Analytic Hierarchy Process), criado por Saaty na década de 1970, é uma técnica utilizada para auxiliar na tomada de decisões de situações complexas, e consiste em realizar comparações paritárias para medir a importância de cada elemento (variáveis do processo) dentro das hierarquias.

O AHP avalia a dependência entre os grupos de elementos de sua estrutura por meio de verificação de consistência de valores. Ele pode ser usado em amplas aplicações em que se utilizam vários critérios para as tomadas de decisão (SAATY, 1987; TIMOR; SIPATHI, 2010).

De acordo com Vargas (1990) e Saaty (2008), o método deve ser aplicado em duas fases: (I) concepção e (II) avaliação hierárquica, sendo quatro axiomas fundamentais que regem a estrutura do método decisório AHP, os quais são elencados a seguir:

- (Axioma 1) Comparação recíproca: o especialista responsável por tomar a decisão deve, além de fazer a comparação, atribuir valores para cada uma das

variáveis analisadas. Deve-se satisfazer a condição de que se A tem um peso n vezes maior que B , B deve ter o valor de $1/n$ em relação a A ;

- (Axioma 2) Homogeneidade: Os valores para os julgamentos das variáveis são representados dentro de uma escala limitada (escala de Saaty);
- (Axioma 3) Independência: Os valores dos critérios devem ser independentes das alternativas consideradas;
- (Axioma 4) Expectativas: Para que o método funcione, todos os critérios considerados devem ser utilizados;

Para que a avaliação paritária seja realizada, os julgamentos devem obedecer aos dados dispostos na Tabela 4, conforme o axioma 2, onde estão delimitados os valores de constante de escala que devem ser utilizados para cada julgamento, junto com a definição e a explicação de cada um deles.

Tabela 4 – Valores de constante de escala relativos aos julgamentos do método AHP

Constante de escala (Valores de Importância)	Definição	Explicação
1	Mesma Importância	As duas atividades contribuem da mesma maneira para o objetivo
3	Moderadamente Importante	Uma atividade é ligeiramente mais importante que a outra
5	Forte Importância	Uma atividade é mais importante que a outra
7	Muito Importante	Uma atividade é muito mais importante que a outra
9	Extremamente Importante	Uma atividade é expressivamente mais importante que a outra
2, 4, 6, 8	Para relação entre os valores acima	Quando uma atividade é um pouco mais importante que a outra e fica entre dois níveis de importância

Fonte: adaptado de SAATY, 1994.

A constante de escala representa o valor a ser atribuído para cada variável analisada pelos decisores. A Figura 3 ilustra a estrutura dos axiomas no desenvolvimento do método AHP com exemplificações de constante de escala atribuída.



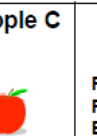



		Size				
		Apple A	Apple B	Apple C		
Size Comparison						
	Apple A	1	2	6	6/10	A
	Apple B	1/2	1	3	3/10	B
	Apple C	1/6	1/3	1	1/10	C

Figura 3 – Exemplo de aplicação do método AHP.
Fonte: SAATY (2010). AIM Workshop on the Mathematics of Ranking.

Na Figura 3 é feita a comparação entre três tamanhos de maçãs utilizando o AHP. Os pesos para cada comparação devem obedecer aos axiomas, de maneira que não haja inconsistência: A maçã A é duas vezes maior que a maçã B, logo a maçã B deve corresponder à metade do tamanho da maçã A. O Eigenvector (vetor prioridade), a partir de dados consistentes, é o resultado, que representa a escala de prioridades resultante da comparação paritária.

2.5.1 Obtenção do Vetor Prioridade

O vetor prioridade pode ser calculado a partir do método da média dos valores normalizados e, para isto, faz uso de três etapas (DE OLIVEIRA; BELDERRAIN, 2008; BRUNELLI, 2014):

- a. Normalização dos valores da matriz de comparação: os valores da matriz são divididos pela soma de suas respectivas colunas, como mostrado pela Equação 7:

$$\|A\| = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (7)$$

Onde:

$\|A\|$ = matriz normalizada;

$i = 1, \dots, m$ (linhas da matriz);

$j = 1, \dots, n$ (colunas da matriz);

a_{ij} = são os elementos da matriz de comparação;
 $m \times n$ = é ordem da matriz;

- b. Obtenção do vetor de prioridades: é calculado a partir da média aritmética dos valores das linhas da matriz normalizada (obtida no item a.), como mostra a Equação 8:

$$v = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n} \quad (8)$$

Onde:

A_{ij} = elementos da matriz normalizada;

v = vetor prioridade da matriz.

- c. Cálculo do autovalor máximo associado ao vetor prioridades:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^m \frac{(A \cdot v)_t}{m \cdot v_j} \quad (9)$$

Onde:

m = número de linhas da matriz;

A = matriz de comparação paritária;

v = vetor prioridade da matriz.

2.5.2 Avaliação de Consistência dos Dados

De maneira a avaliar a consistência dos dados que compõe a matriz decisória, deve-se calcular a razão de consistência (CR – Consistency Ratio) de seus dados, e para tanto, deve-se obter um resultado inferior a 0,1. Porém, um valor superior a 0,1

equivale a incoerência de consistência e indica que os julgamentos foram atribuídos de maneira aleatória e assim faz-se necessária a revisão desses valores para alcance de consistência de base quantitativa da matriz de decisão (SAATY, 1980 apud ARUNRAJ; MAITI, 2010; FRANEK; KRESTA, 2014).

O cálculo da razão de consistência, de acordo com Franek, Kresta (2014), é dado pela Equação 10:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

Onde:

RI (Random Index) = índice obtido através uma simulação aleatória de comparações paritárias das matrizes. Apresenta um valor para cada ordem de matriz quadrada e estão dispostos no Quadro 3.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Quadro 3 - RI (Random index - Índice aleatório)
Fonte: SAATY, 1994.

CI (Consistency Index) = Índice de consistência que pode ser calculado pela Equação 11.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (11)$$

Onde:

λ_{max} = maior autovalor da matriz;

m = número de linhas independentes da matriz;

2.5.3 Agregação de Julgamento

O método decisório AHP suporta mais de um especialista para atribuição de valores aos critérios e categorias (os quais formam a matriz de decisão). Neste caso,

utiliza-se métodos para agregação de julgamento dos especialistas envolvidos. Um dos métodos consiste em considerar o grupo de tomadores de decisão como apenas uma pessoa, ou seja, o grupo todo apresenta uma única decisão, logo, o resultado do AHP é tratado como a solução obtida a partir de um grupo de pessoas (FORMAN, PENIWATI, 1998; HAJSHIRMOHAMMADI; WEDLEY, 2004).

Outro método de agregação de julgamento é sua utilização sem que haja consenso do grupo, considerando cada resposta individual. Posteriormente agregam-se todos os julgamentos em um único resultado. Neste caso, o método AIP (*Aggregating Individual Priorities*) é recomendado, este atribui “pesos” para os diferentes avaliadores, apontando um avaliador com maior importância que outros envolvidos (FORMAN; PENIWATI, 1998).

Para a utilização do método AIP, obtém-se o vetor prioridade, o qual é estruturado para cada avaliador e posteriormente agregado para que se possa definir as propriedades das alternativas avaliadas (ESCOBAR; MORENO-JIMÉNEZ, 2007). A Equação 12 apresenta o método de agregação de julgamento AIP considerando os pesos referentes a cada decisor:

$$w_i^{[G/P]} = \left(\prod_{k=1}^r (w_i^{[k]})^{\beta_k} \right)^{1/r} \quad (12)$$

Onde:

r = número de pessoas envolvidas com as decisões;

$w_i^{[k]}$ = vetor prioridade obtido de cada decisor;

β_k = peso referente a cada decisor, com $\beta_k \geq 0$ e a soma de todos esses pesos igual a 1 ($\sum_{k=1}^r \beta_k = 1$).

A utilização do método hierárquico decisório AHP conjuntamente com o método de agregação de julgamento AIP possibilita que a tomada de decisão leve em consideração não apenas os critérios e comparações estabelecidos no método AHP, mas a importância que cada decisor tem ao aplicar o método, garantindo que a experiência e o conhecimento do decisor impactem diretamente em cada uma de suas avaliações.

2.5.4 Método Hierárquico Decisório AHP Aplicado na Tomada de Decisão em Estratégias de Manutenção Industrial

A seleção das estratégias de manutenção é um problema que envolve múltiplos critérios de tomada de decisão. Os gestores têm de selecionar a melhor política de manutenção para cada peça de equipamento ou sistema a partir de um conjunto de alternativas possíveis. Um bom programa de manutenção deve definir estratégias de manutenção adequadas para cada ativo industrial, visando otimizar os recursos da manutenção em busca da eficiência do ativo (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000; WANG et al., 2007).

Desta maneira, métodos decisórios podem ser utilizados na tomada de decisão na manutenção industrial, como o AHP. O método decisório hierárquico auxilia os gestores de manutenção a organizar os aspectos críticos de um problema em uma estrutura hierárquica de maneira a reduzir as decisões complexas a uma série de comparações simples, fornecendo o melhor resultado e uma vista clara para as escolhas feitas (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000).

Para Arunraj, Maiti (2010), a análise e justificativa da seleção das estratégias de manutenção é uma tarefa crítica e complexa devido ao grande número de fatores a serem considerados, muitos dos quais são intangíveis. O método de escolha de políticas de manutenção normalmente depende de custo das políticas de manutenção juntamente com outros critérios, como qualidade do produto, disponibilidade de peças de reposição e o tempo de manutenção.

A aplicação das corretas ações de manutenção no momento certo reduz consideravelmente os custos com manutenção. (RAMADHAN; HAMAD; WAHHAB; DUFFUA, 1999).

O AHP pode ser utilizado na manutenção considerando os seguintes critérios: custo, confiabilidade, disponibilidade e a capacidade de reparo dos equipamentos. O método ainda pode ser aplicado a metodologias como o RCM (Reliability Centered Maintenance) e a ferramentas como o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) (TRANTAPHYLLOU, 1997; BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000).

Desta maneira, a aplicação do método AHP na tomada de decisão das estratégias de manutenção visa apontar as práticas de manutenção que melhor sejam aplicadas para garantir melhores níveis de disponibilidade e confiabilidade dos processos, bem como a otimização dos custos relacionados a esses.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA METODOLOGIA

Perante a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), essa pesquisa se enquadra na grande área de avaliação Engenharias III (a qual contempla: Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Naval e Oceânica e Engenharia Aeroespacial) dentro da subárea (30801001) Gerência De Produção (CAPES 2016).

Prodanov, Freitas (2013) e Gil (2002) enfatizam que a preparação da pesquisa consiste no planejamento das etapas da pesquisa e apresentação do cenário envolvido no estudo de caso. Para isso, a pesquisa científica pode ser dividida de acordo com quatro parâmetros: quanto à natureza, quanto aos objetivos, quanto aos procedimentos e em relação à forma de abordagem. O Quadro 4 apresenta a classificação da metodologia aplicada no presente trabalho.

Quesito	Classificação							
NATUREZA	Aplicada	Básica						
OBJETIVOS	Exploratória	Descritiva	Explicativa					
PROCEDIMENTOS	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa Documental	Pesquisa Experimental	Observação direta	Levantamento de dados	Pesquisa de Campo	Estudo de caso	Pesquisa-ação
ABORDAGEM	Pesquisa Quantitativa	Pesquisa Qualitativa						

Quadro 4 - Metodologia da pesquisa (quadro resumo).
Fonte: Autoria própria.

Do ponto de vista da natureza, esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, a qual visa gerar conhecimentos para aplicação prática voltada para a solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos da pesquisa, estes podem ser divididos de acordo com: pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa, sendo que esta pesquisa utiliza a abordagem descritiva, pois busca a descrição das características de determinados fenômenos, populações ou relações entre variáveis.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa é realizada por meio de levantamento de dados, utilização de técnicas padronizadas (como questionários e observação

direta), pesquisa documental (histórico de falhas, manual técnico e relatório de manutenção preditiva) e pesquisa bibliográfica (SILVA, MENEZES, 2005; PRODANOV, FREITAS, 2013).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como quantitativa e qualitativa, pois coleta informações qualitativas quanto ao processo de manutenção na empresa estudo de caso e estrutura indicadores para avaliação do desempenho deste processo. Também enquadra-se como estudo de caso pois permite o detalhado conhecimento de um objeto a partir de um estudo aprofundado (GIL, 2002).

3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA

De acordo com Gil (2002), Prodanov e Freitas (2013), a elaboração do protocolo de pesquisa direciona a forma para estruturar e aplicar os dados obtidos para desenvolvimento da pesquisa, isso garante a confiabilidade do estudo de caso. A pesquisa fornece ao investigador um caminho para o conhecimento, que durante a passagem da formulação do problema até a apresentação dos resultados, passa pelas seguintes fases: preparação da pesquisa, pesquisa de campo, processamento de dados, análise dos dados e elaboração do relatório de pesquisa. A Figura 4 apresenta detalhadamente o protocolo de pesquisa do trabalho.

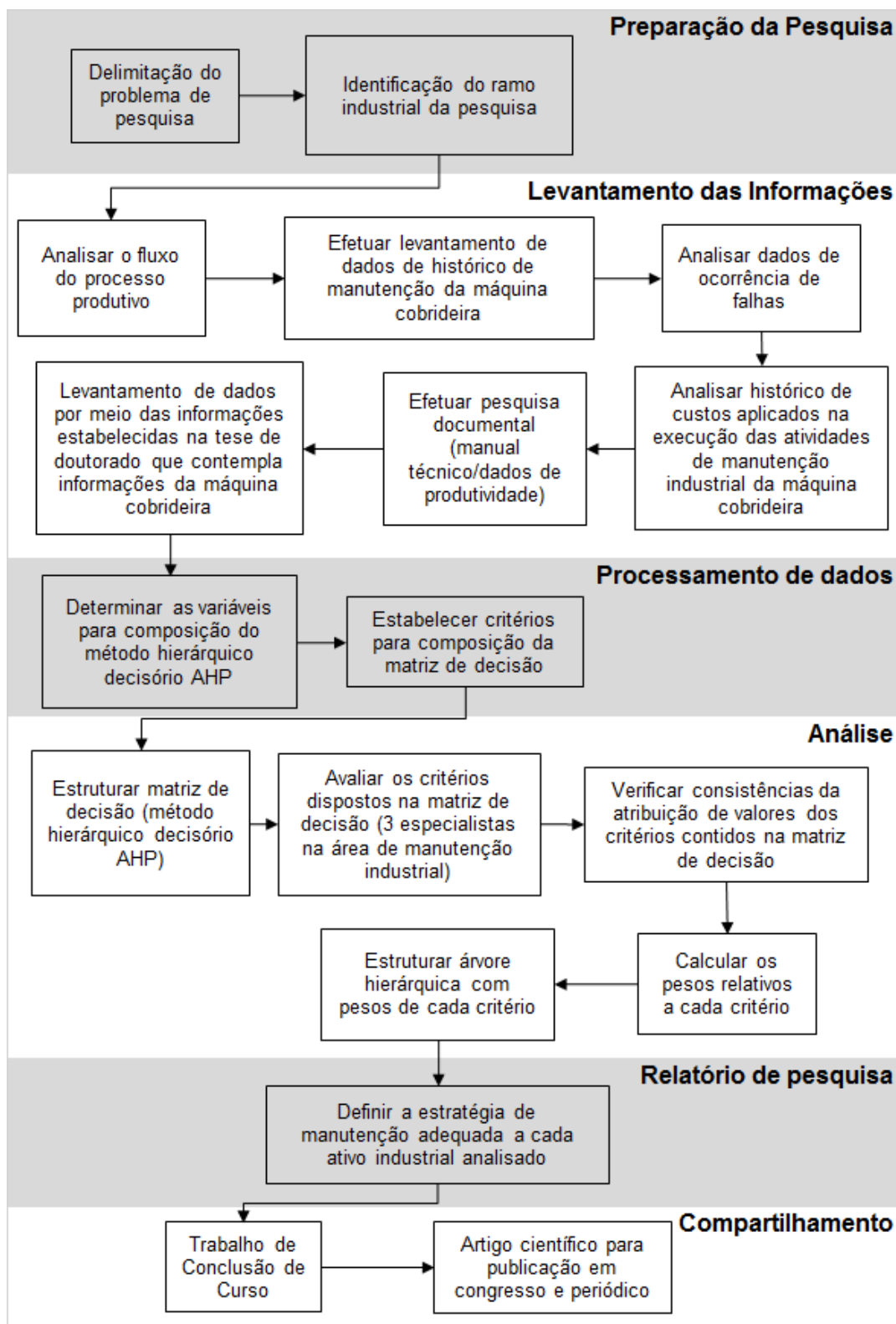


Figura 4 - Protocolo de pesquisa.
Fonte: autoria própria.

Mediante ao protocolo de pesquisa (Figura 4), pode-se detalhar as suas etapas:

- I. Preparação da Pesquisa: nesta etapa é definido o problema da pesquisa por meio de revisão da literatura, a qual é composta por livros, artigos técnicos, científicos (plataformas: EBSCO, CAPES, ScienceDirect e Emerald), teses e dissertações relacionadas ao tema. Também se identifica as particularidades do ramo alimentício, o qual será desenvolvido o estudo de caso.
- II. Levantamento de informações: esta etapa compreende as seguintes ações:
 - a) Analisar o fluxo do processo produtivo do estudo para compreensão do processo de fabricação de alimentos e interdependências do maquinário durante a fabricação.
 - b) Levantamento e análise do histórico de falhas da máquina cobrideira para entendimento dos impactos da manutenção sobre a produtividade.
 - c) Analisar as informações referentes a: custo, disponibilidade, taxa de ocorrência de falhas, manutenibilidade e perda de produtividade para definição das variáveis que estruturam o método AHP. Essas informações são oriundas do histórico de falha, do manual técnico e da Tese de doutorado intitulada “Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia”, da autoria de BELINELLI, M.M; SOUZA, G. F. M. (2015), publicada pela EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- III. Processamento de dados: determina-se as variáveis que compõe o método decisório AHP, sendo que essas estabelecem critérios, os quais são dispostos na matriz de decisão (parte integrante do método).
- IV. Análise: nesta etapa estrutura-se a matriz de decisão com as variáveis identificadas. A atribuição de valores (pesos) aos critérios contemplados na matriz de decisão é realizada por 3 especialistas da área de manutenção. A agregação das avaliações dos especialistas é feita pelo método AIP (*Aggregating Individual Priorities* – Agregação Individual de Prioridades). Para agregação de julgamento,

esse método considera pesos relativos à importância de cada especialista na aplicação do método hierárquico decisório AHP.

- V. Relatório de pesquisa: apresenta o resultado obtido na aplicação do AHP, apontando a adequada estratégia de manutenção a ser aplicada na máquina cobrideira, com as respectivas análises e discussões acerca da otimização dos recursos para execução das atividades.
- VI. Compartilhamento: descrição da pesquisa em formato de trabalho de conclusão de curso e produção de artigo científico para submissão em congresso internacional (ISUMA/ICVRAM 2018) e periódico internacional A1 – Engenharias III (Reliability Engineering & System Safety).

3.3 TRABALHOS CORRELATOS

Este tópico apresenta, no Quadro 5, um comparativo entre estudos correlatos em relação à pesquisa desenvolvida. Salienta-se que os sistemas industriais pesquisados, nos referidos estudos correlatos, foram mapeados mediante suas particularidades:

- Identificação do sistema industrial: mapeamento ou descrição do processo, pesquisa documental, observação direta do processo produtivo, levantamento de dados com entrevistas/questionários e estudo de caso;
- Variáveis analisadas para a composição do método decisório (critérios do AHP): produtividade, custo, disponibilidade e taxa de ocorrência de falhas;
- Método de tomada de decisão: método decisório AHP e agregação de julgamento AIP.

(Início)

Autor	Aplicação	Identificação do Sistema Industrial			Variáveis analisadas para a composição do método decisório			
		Mapeamento/Descrição do Processo	Pesquisa Documental	Estudo de Caso	Produtividade	Custo	Disponibilidade	Taxa de falha
BEVILACQUA e BRAGLIA (2000)	Refinaria de Petróleo	X	X	X	X	X	X	X
BERTOLINI e BEVILACQUA (2006)	Refinaria de Petróleo	X	X	X		X	X	X
WANG et al (2007)	Usina Térmica	X	X	X	X	X	X	X
ARUNRAJ e MAITI (2010)	Indústria Química	X	X	X		X		X
MALETIČ et al (2014)	Indústria de Papel	X	X	X	X	X	X	X
GOOSSENS e BASTEN (2015)	Navios de Guerra	X	X	X		X	X	
RAZENTE (2016)	Indústria Alimentícia	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 5 – Estudos correlatos.
Fonte: Autoria própria.

(Continua)

(Conclusão)

Autor	Aplicação	Alternativas consideradas como resultado da aplicação do método AHP					Método de Tomada de Decisão	
		Manutenção Preditiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Manutenção Autônoma	FMEA	Método Decisório AHP	Método de Agregação de Julgamento AIP
BEVILACQUA e BRAGLIA (2000)	Refinaria de Petróleo	X	X	X			X	
BERTOLINI e BEVILACQUA (2006)	Refinaria de Petróleo	X	X	X			X	
WANG et al (2007)	Usina Térmica	X	X	X			X	
ARUNRAJ e MAITI (2010)	Indústria Química	X	X	X			X	X
MALETIĆ et al (2014)	Indústria de Papel	X	X	X	X	X	X	X
GOOSSENS e BASTEN (2015)	Navios de Guerra	X	X	X			X	X
RAZENTE (2016)	Indústria Alimentícia	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 5 – Estudos correlatos.

Fonte: Autoria própria.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

As informações para o desenvolvimento do estudo de caso foram obtidas a partir da tese de doutorado intitulada “Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: Aplicação na indústria alimentícia” defendida em 23 de março de 2015 no programa de pós-graduação em engenharia mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), de autoria de BELINELLI, M.M; SOUZA, G. F. M (Orientador).

Esta pesquisa fundamenta-se na análise dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade, risco de inocuidade do produto alimentício, custos com manutenção e particularidades de operação e manutenção de uma máquina cobrideira, para aplicar o método decisório AHP, definindo uma matriz decisória das adequadas atividades de manutenção para essa máquina, promovendo melhoria no seu desempenho e otimização dos recursos aplicados na execução das atividades de manutenção.

Para determinar as estratégias de manutenção da máquina cobrideira (por meio da aplicação do método decisório hierárquico AHP) a presente pesquisa se estrutura pelas etapas elencadas:

- I. Apresentar o processo produtivo de fabricação de alimentos, no qual a máquina cobrideira está inserida;
- II. Analisar os indicadores de desempenho de manutenção, custos de peças e serviços e informações de produtividade e operação da máquina cobrideira;
- III. Estabelecimento das variáveis para a composição do método hierárquico decisório AHP;
- IV. Aplicação do método AHP para determinar as estratégias de manutenção e estrutura-las na matriz decisória (resultado).

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ALIMENTOS

Para entender as particularidades do processo de alimentos, no qual está instalada a máquina cobrideira, apresenta-se o seu fluxograma na Figura 5.

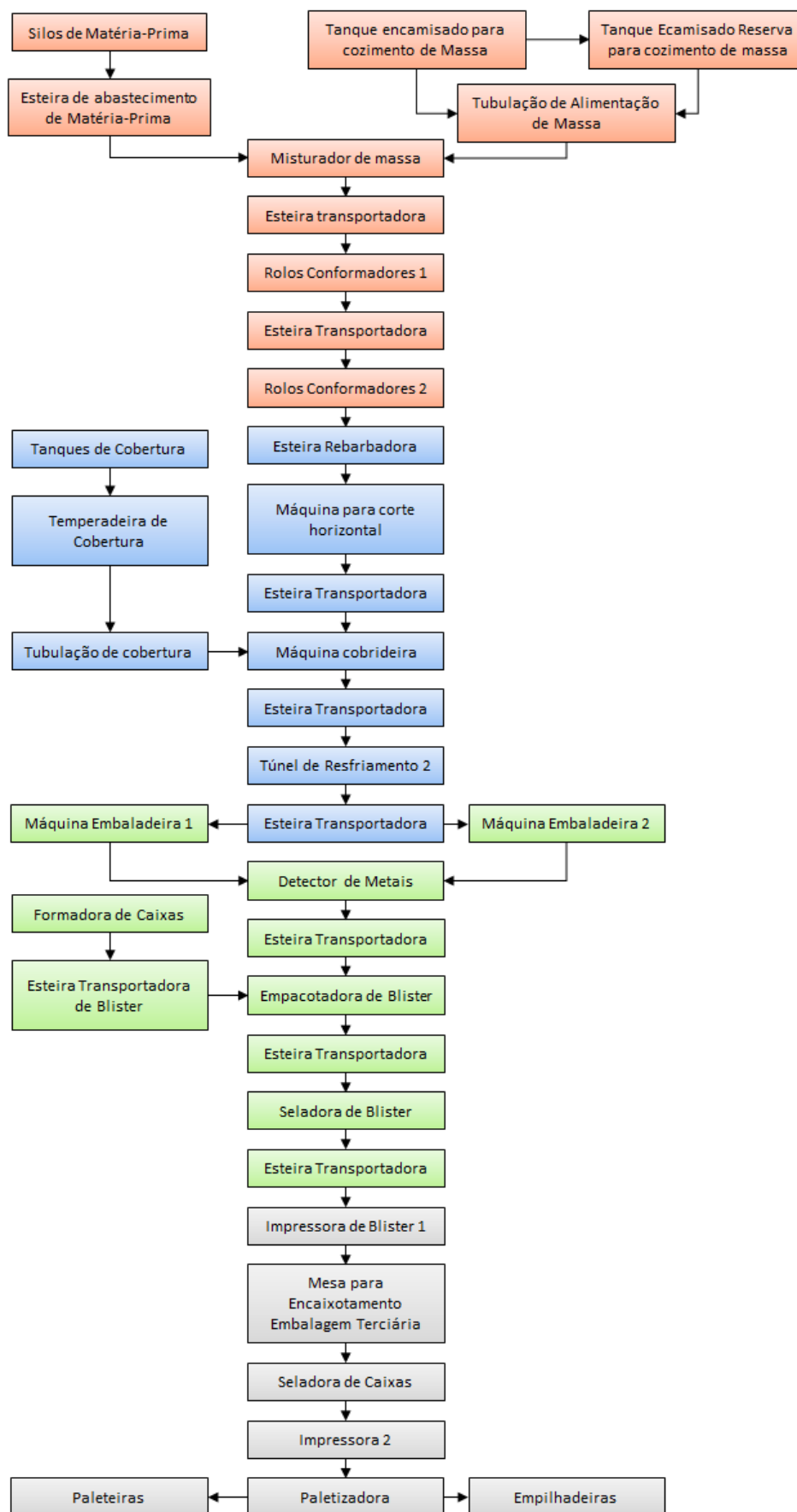


Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo.
 Fonte: adaptado de BELINELLI, 2015.

A máquina cobrideira está inserida na etapa intermediária desse processo e está ligada em série com os ativos da linha de produção, o que caracteriza que falhas nesta máquina que interrompem seu funcionamento, impactam diretamente na produtividade do processo.

O fluxograma do processo produtivo está estruturado em forma de arranjo físico na Figura 6, neste se pode observar a ligação dos componentes do maquinário em série e a posição da máquina cobrideira dentro do processo.

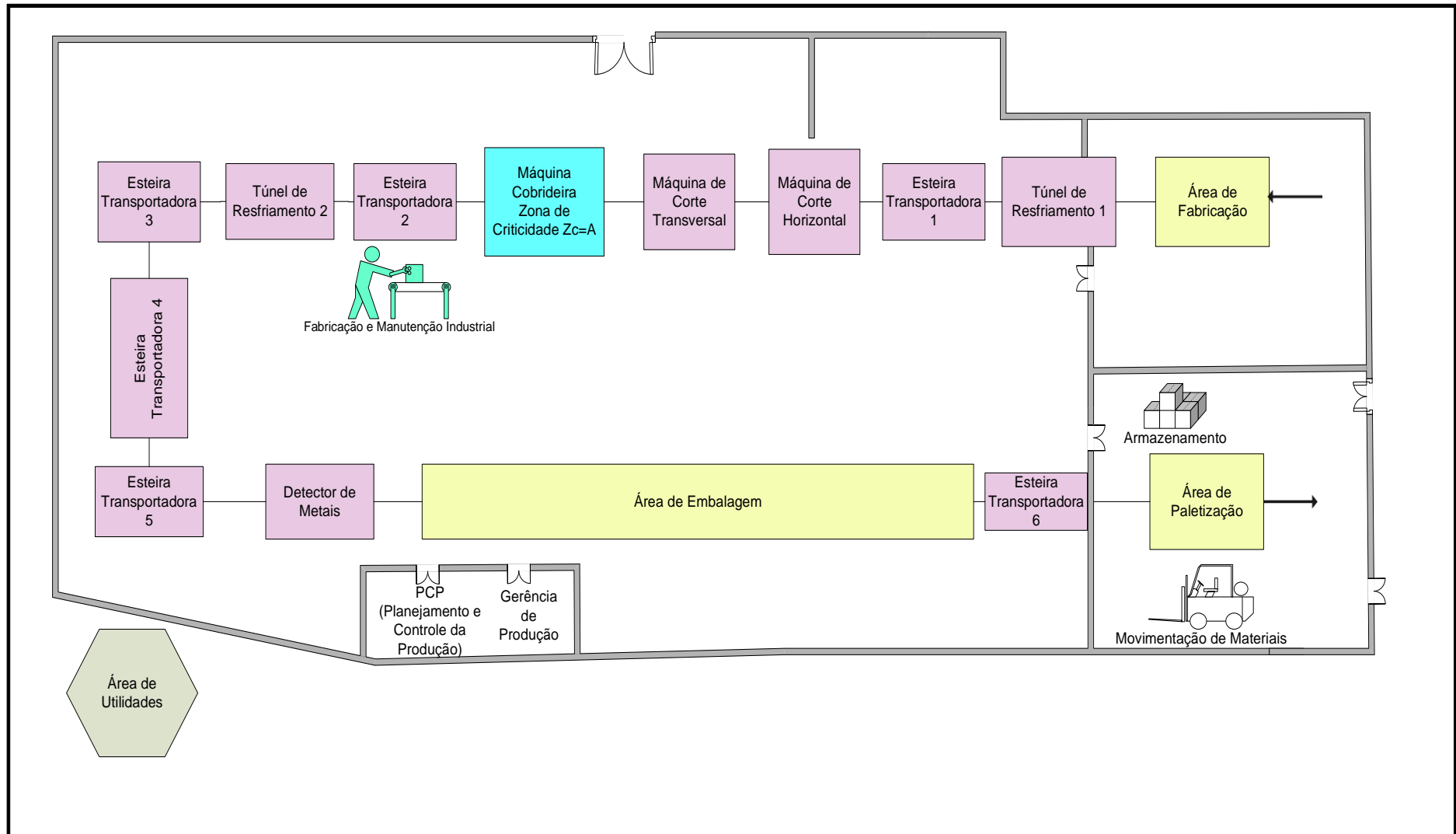


Figura 6 – Leiaute da linha de produção no formato de Ligação em Série.

Fonte: BELINELLI, 2015.

Observa-se, por meio do arranjo físico, que a máquina cobrideira afeta diretamente a disponibilidade operacional do processo produtivo por: apresentar ligação em série e não possuir backup ativo ou passivo. Essa máquina contém elementos de máquina expostos (correia dentada, engrenagem e rolamentos) e sua estrutura apresenta as seguintes características, que consolidam a máquina como um ativo industrial crítico:

- I. Evidencia pontos de lubrificação expostos que podem ser contaminados com alimentos, água e desinfetantes durante o processo de limpeza e higienização;
- II. A máquina opera com produtos sem embalagem, proporcionando contato direto com o alimento;
- III. Não possui backup ativo ou passivo.
- IV. Histórico de falhas com estrutura de dados inconsistente para tomada de decisão.

O sistema produtivo, no qual a máquina cobrideira está inserida divide-se em cinco áreas de produção de alimentos, sendo elas (BELINELLI, 2015):

- I. Área de fabricação: tanques de armazenamento, rede de tubulação de água, vapor e ar comprimido, esteira transportadora, silo de armazenamento de matéria prima, rolo formador, misturador e túnel de resfriamento.
- II. Área de corte e resfriamento: túnel de resfriamento, máquina de corte transversal, máquina de corte horizontal, máquina cobrideira, rede de tubulação de água, vapor e ar comprimido e esteira transportadora.
- III. Área de embalagem de produto: rede de tubulação, esteira transportadora, máquinas embaladoras, formadora de caixa, máquina de comportar produtos unitários em blister, seladora de blisters, balança, detector de metais e mesa separadora de produtos.
- IV. Área de paletização: rede de tubulação, esteiras transportadoras, impressoras, seladoras, paletizadoras e empilhadeiras.
- V. Área de utilidades: caldeira, compressor, chiller e rede de tubulação.

Para a compreensão dos componentes da máquina cobrideira, é apresentada sua árvore funcional na Figura 7.

(Início)

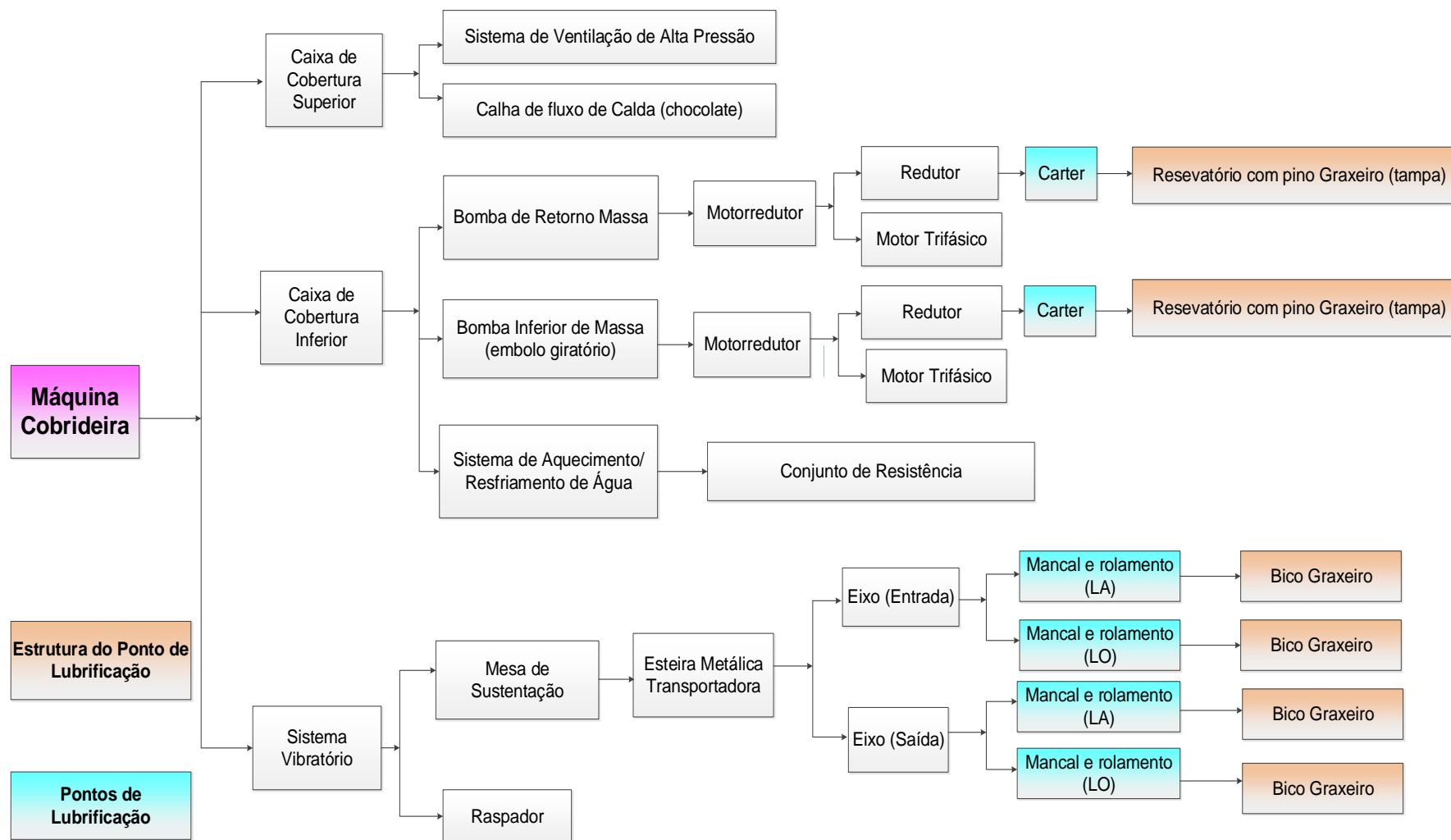


Figura 7 – Árvore Funcional da máquina cobrideira.
Fonte: BELINELLI, 2015.

(Continua)

(Conclusão)

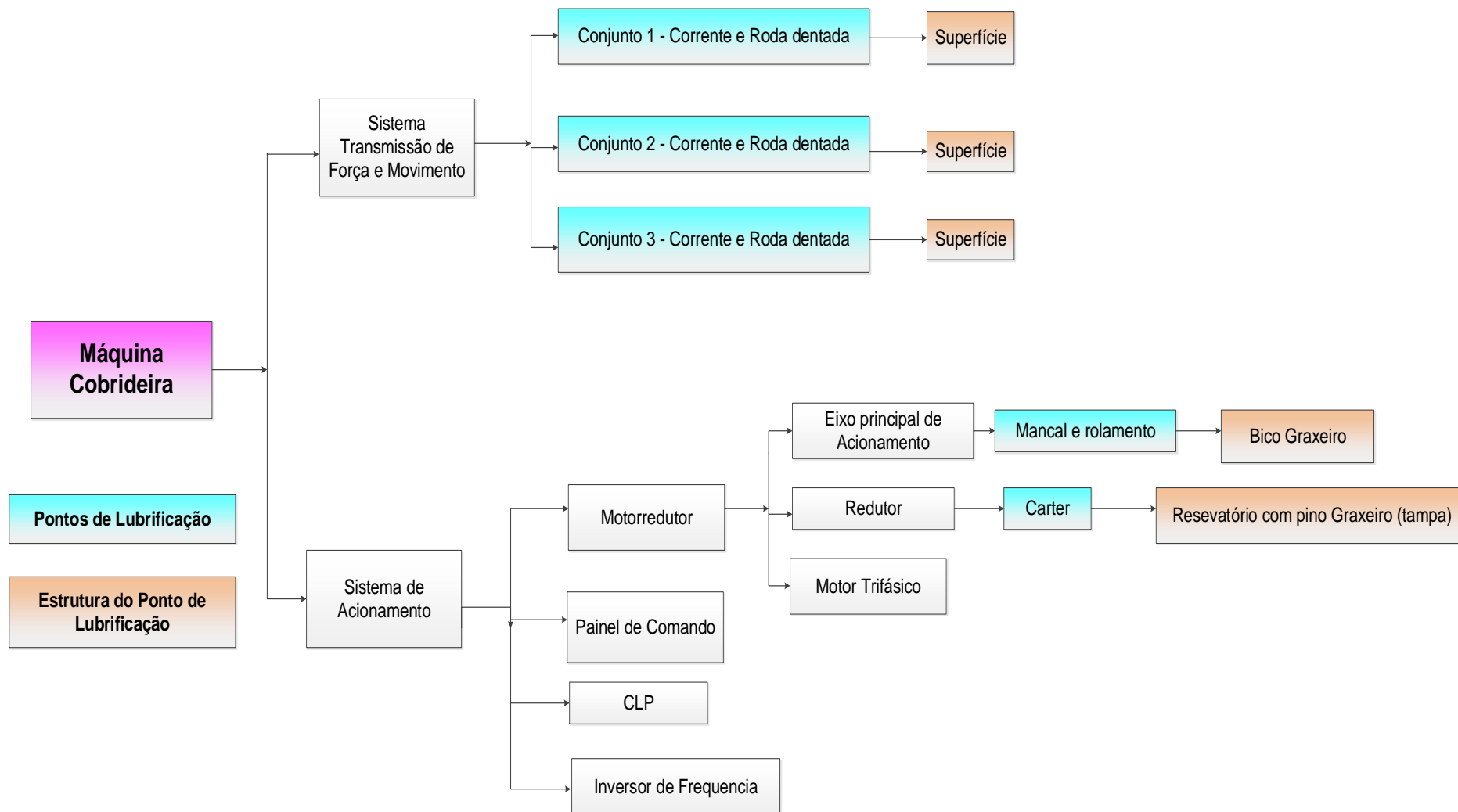


Figura 7 – Árvore Funcional da máquina cobrideira.
Fonte: BELINELLI, 2015.

A árvore funcional da máquina cobrideira está dividida em cinco sistemas principais (caixa de cobertura superior, caixa de cobertura inferior, sistema vibratório, sistema de transmissão de força e movimento e sistema de acionamento). A estrutura da máquina cobrideira ressalta vários pontos de lubrificação, sendo este tipo de manutenção um dos critérios que podem acarretar risco de inocuidade do produto (BELINELLI, 2015).

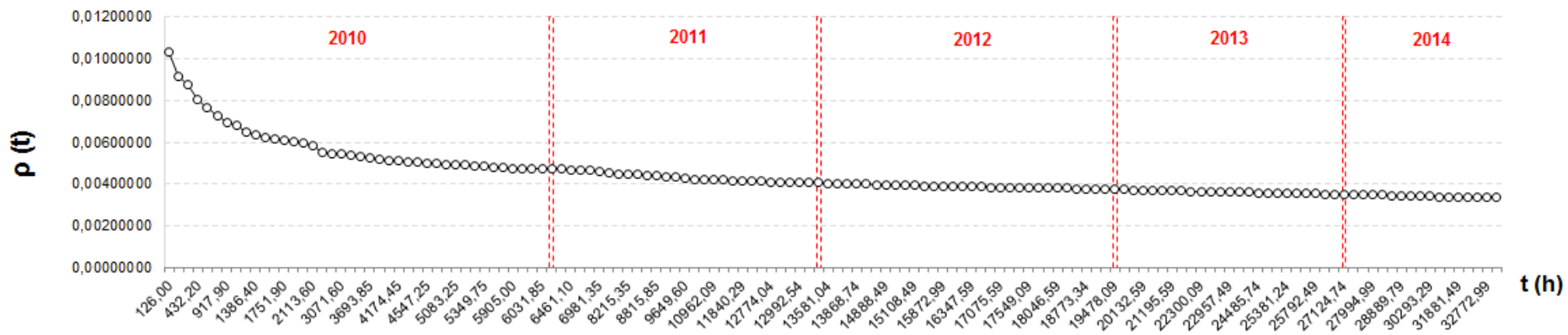
Salienta-se que os elementos de máquina expostos (corrente e roda dentada) que sofrem mais com o processo de limpeza e higiene estão alocados no sistema de transmissão, podendo a contaminação do lubrificante por água, desinfetantes e produtos de limpeza afetar as propriedades físicas do lubrificante e assim acarretar eventos de falhas na cobrideira, impactando diretamente na disponibilidade do processo produtivo (BELINELLI, 2015).

4.2 ANÁLISE DE INDICADORES, CUSTO E PARTICULARIDADES DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DA COBRIDEIRA

Os dados e informações analisados, para auxiliar na definição das variáveis do método AHP são:

- Disponibilidade – $A(t)$;
- Taxa de intensidade de ocorrência de falhas – $\rho(t)$;
- Manutenibilidade;
- Histórico de falhas e produtividade;
- MTBF(t);
- MTTR(t);
- Histórico de falhas;
- Custo de peças;
- Particularidades do processo de lubrificação industrial.

Inicialmente verifica-se os indicadores de disponibilidade operacional da cobrideira e a tendência da taxa de intensidade de falhas $\rho(t)$ entre os anos 2010 – 2014. Salienta-se que os indicadores foram estruturados pelo método ROCOF (Rate of Change of Frequency) retirados da tese de doutorado (BELINELLI, 2015).



(a)



(b)

Figura 8 – (a) Gráfico de Gráfico $\rho(t)$ – (b) Gráfico de $A(t)$ da Máquina Cobrideira de 2010 a 2014.
 Fonte: Adaptado de BELINELLI, 2015.

O gráfico de disponibilidade $A(t)$ mostra uma tendência crescente de tempo operacional da máquina cobrideira, sendo ao final de 2014 um valor de $A(t) = 0,99016383$, o que corresponde a 99,016383% de operação efetiva sobre o tempo disponível para a produção.

Já os valores de taxa de intensidade de ocorrência de falhas $\rho(t)$ apontam uma tendência decrescente de falhas na máquina cobrideira para o período analisado, sendo o valor de $\rho(t)$ ao final de 2014 equivalente a $\rho(t) = 0,7992$ o que corresponde a 79,9% de probabilidade de falha por unidade de tempo.

Posteriormente verifica-se as informações contidas nos indicadores de MTFB(t) e MTTR(t) presentes na Figura 9 a seguir.

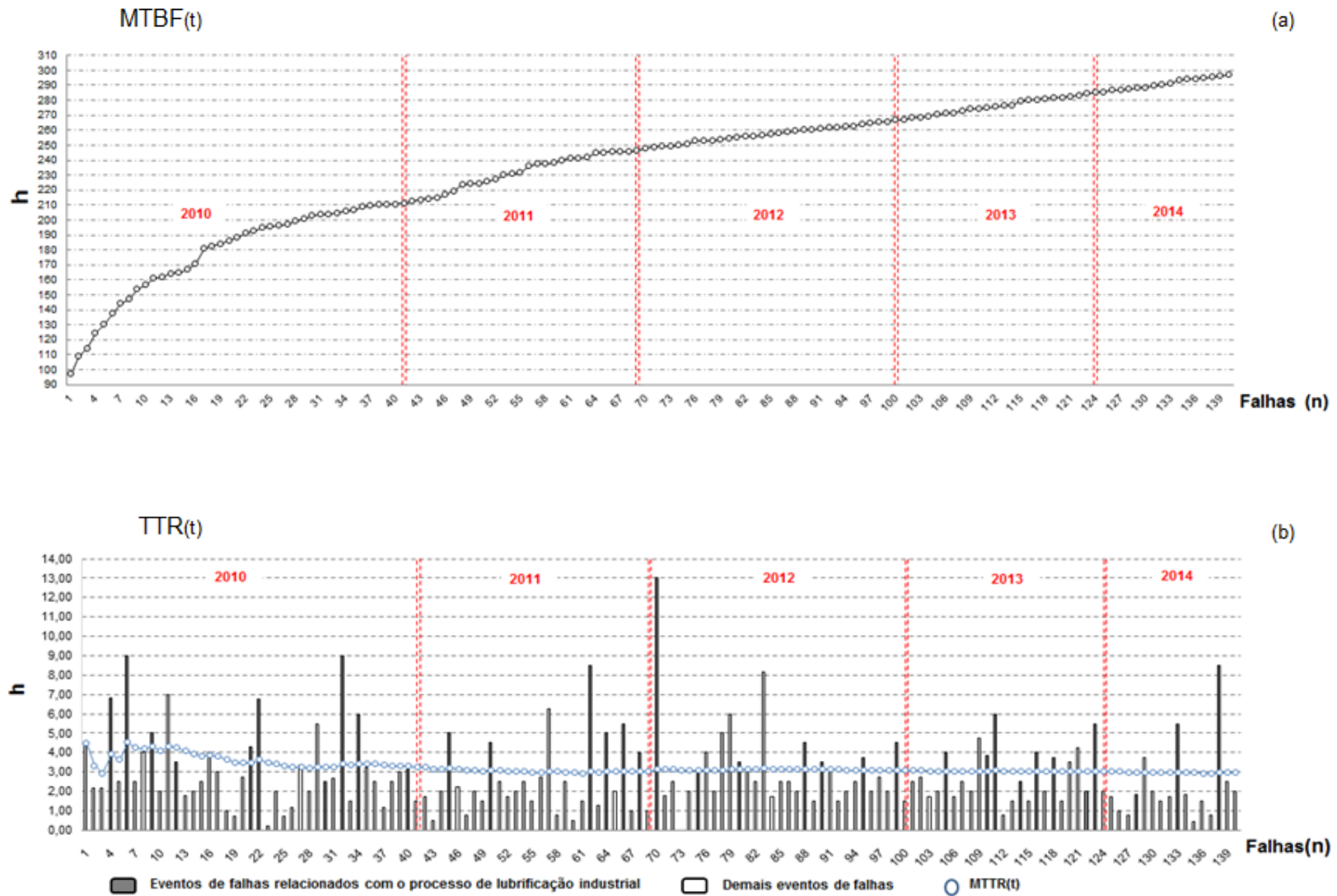


Figura 9 – (a) Gráfico dos Valores de MTBF(t), (b) Gráfico de MTTR(t) e TTR's dos Eventos de Falhas Ocorridos entre 2010 e 2014. FONTE: BELINELLI, 2015.

A Figura 9 (a) apresenta os valores referentes ao MTBF(t) dos eventos de falhas ocorridos na máquina cobrideira no período entre 2010 e 2014, evidenciando a tendência crescente do tempo médio de ocorrência de falhas, devido a redução do MTTR(t) exposto no gráfico da Figura 9 (b).

Parte do resultado deve-se a melhoria no processo de lubrificação. Os eventos de falhas referentes a lubrificação (35 eventos), representam 25% do total das 140 falhas (detalhadas no **APÊNDICE A**), sendo que após a melhoria no processo de execução e gerenciamento das atividades de lubrificação, houve uma redução de 37,5% na ocorrência dessas falhas no ano de 2014 em comparação ao ano anterior (2013).

As falhas relacionadas a lubrificação resulta, no período de dados disponibilizados 2010-2014, em 181,85 h de inoperância da máquina cobrideira. Analisando as 35 falhas relacionadas à lubrificação, 181,85h inoperantes representam uma perda de produção de 4.451.688 unidades (considerando capacidade produtiva de 24.480 unidades/h). A Tabela 5 apresenta os eventos de falhas referentes ao histórico de falhas da máquina cobrideira entre os anos 2010 e 2014.

Tabela 5 - Eventos de falha

Eventos de Falha	\sum TTR (h)	Frequência (unidade)
Lubrificação	181,85	35
Entupimento de Tubulação	57,16	25
Desgaste	50,25	19
Eletroeletrônico/Instrumentação	35,05	16
Processo de Limpeza e higienização	22,95	15
Vedação/Conexão danificada	22,05	13
Trinca	31,1	11
Elétrico	12,4	6
Total Geral	412,81	140

Fonte: Autoria própria.

A lubrificação é um fator no processo produtivo do ativo industrial em questão, além de representar um possível foco de contaminação que afeta a inocuidade do produto, também impacta diretamente na disponibilidade operacional da cobrideira. Outro modo de falha que interfere na disponibilidade - $A(t)$, são os eventos relacionados ao entupimento de tubulação de abastecimento de chocolate para a cobrideira, os quais apresentam 25 eventos totalizando 57,16 h de interrupção no

funcionamento da máquina com consertos dessas falhas, isso equivale a 13,8% do TTR(h) total de manutenção corretiva realizada na máquina cobrideira entre os anos 2010 – 2014. O Quadro 6 apresenta a descrição dos serviços relacionados ao entupimento de tubulação da máquina cobrideira com seus respectivos tempos de reparo.

Eventos relacionados ao entupimento da tubulação de chocolate (2010 – 2014)	TTR (h)
Desmontada e desentupida a tubulação (chocolate endurecido)	6,26
Desmontado a tubulação e eliminado entupimento (chocolate endurecido na tubulação)	3,5
Efetuada a manutenção no sistema de retorno devido a cristalização de chocolate na bomba	3
Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	29,9
Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuada a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	14,5

Quadro 6 – Serviços relacionados ao problema de entupimento de tubulação.
Fonte: Adaptado de BELINELLI, 2015 e dados da empresa.

Já o modo de falha que apresenta menor impacto na disponibilidade $A(t)$ são os eventos relacionados com problemas elétricos (6 eventos), os quais representam 3% do tempo total de inoperância da cobrideira.

Em relação aos custos empregados na manutenção da máquina cobrideira, as Tabela 6 e Tabela 7 apresentam os valores de peças e serviços aplicados na manutenção corretiva de falhas relacionadas ao processo de lubrificação da cobrideira, dados de custos disponibilizados nas fontes de pesquisa documental.

Tabela 6 – Custo com manutenção corretiva por serviço/material – máquina cobrideira (2010-2014)

Tipo de serviço/material	Contagem por tipo de serviço/material	TTR (h)/tarefa	Custo de peças e serviços (R\$)	Valor individual da peça (R\$)
Manutenção : bucha, mancal e rolamentos	1	3,5	590,00	590,00
Manutenção : mancal e rolamentos	1	3,5	539,80	539,80
Manutenção : vazamento motorreductor	9	36,5	3.150,00	350,00
Manutenção: eixo, bucha e rolamentos	1	5	725,00	725,00
Manutenção: eixo, mancal e rolamentos	2	13,55	1.640,00	820,00
Manutenção: rolamento e bucha	1	2,5	250,00	250,00
Manutenção: Rolamentos, bucha, mancal	1	5,5	565,00	565,00
Manutenção: Rolamentos, esteira metálica (troca)	10	76,5	14.250,00	1.425,00
Manutenção: Sistema Transmissão de força e movimento	7	27,5	11.200,00	1.600,00
Manutenção: vazamento motorreductor	2	7,8	700,00	350,00
Total Geral	35	181,85	33.609,80	-

Fonte: Adaptado de BELINELLI, 2015.

Tabela 7 – Custo com manutenção corretiva anual (serviços de lubrificação) – máquina cobrideira (2010-2014)

Ano	Contagem de serviço/ano	TTR (h)/ano	Custo de peças e serviços (R\$)
2010	10	56	7.940,00
2011	6	32,5	5.500,00
2012	8	41,75	7.879,80
2013	8	33,85	8.700,00
2014	3	17,75	3.590,00
Total Geral	35	181,85	33.609,80

Fonte: Adaptado de BELINELLI, 2015.

Na Tabela 6 se verifica que o conserto que representa o valor mais elevado está relacionado com as trocas dos elementos de máquina do sistema de transmissão de força e movimento da cobrideira, sendo que cada troca equivale a um gasto de R\$ 1.600,00 em manutenção corretiva. Este evento de falha apresenta uma frequência de 7 ocorrências ao longo dos anos 2010 - 2014, acumulando um TTR de 27,5h e o custo total de R\$ 11.200,00.

Na Tabela 7 se observa que houve a redução do TTR(h) da máquina cobrideira relacionado as ações de manutenção corretiva no ano de 2014, apresentando nesse ano uma redução de 46,7% do TTR(h) em relação ao ano de 2013. Isto pode ser evidenciado como resultado da implantação de melhorias no processo de lubrificação para a máquina cobrideira apresentado na tese de doutorado, fonte de dados para estudo de caso.

Como particularidade de manutenção e operação, a máquina cobrideira apresenta:

- I. Processo de lubrificação focado na confiabilidade operacional e garantia da qualidade do produto;
- II. Processo de limpeza e higienização por meio de aplicação de água a aproximadamente 70°C em alta pressão;
- III. MCC implantado com sistema de tratativa de falhas relacionadas a lubrificação;
- IV. Estrutura de elementos de máquinas expostos durante o processo de limpeza.

As informações e dados referentes a manutenção e operação da máquina corredeira são a base para determinação das variáveis de composição do método decisório AHP e também, fonte de informação para os decisores durante a atribuição dos pesos a essas variáveis estruturadas na matriz decisória.

4.3 VARIÁVEIS DE COMPOSIÇÃO PARA O MÉTODO HIERÁRQUICO AHP

Para a aplicação do método AHP, se estabelece categorias, critérios e alternativas (estratégias de manutenção), os quais foram definidos com base nos dados relativos ao desempenho da manutenção e produtividade máquina cobrideira e

informações contidas nos trabalhos correlatos (Quadro 5). As variáveis identificadas estão estruturadas na árvore decisória da Figura 10.

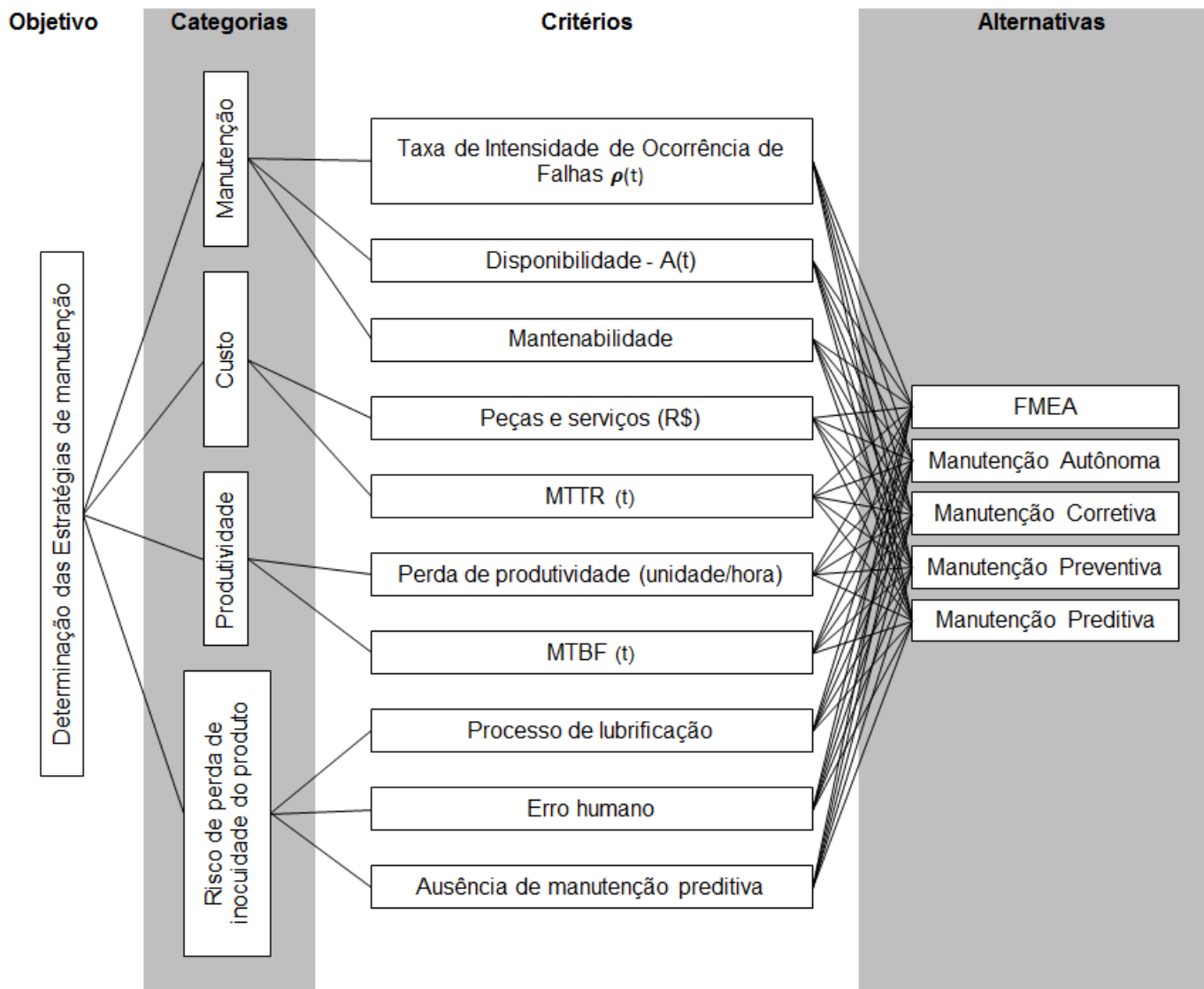


Figura 10 – Árvore hierárquica com as variáveis de composição do método AHP.
 Fonte: autoria própria.

Na Figura 10 apresenta-se a divisão das categorias em quatro variáveis principais: **Manutenção, Custo, Produtividade e Risco de perda de inocuidade do produto**. A essas estão relacionados os critérios que impactam no seu desempenho e por fim as alternativas que representam o resultado da aplicação do método, ou seja, as estratégias de manutenção. No Quadro 7 se descreve as particularidades de cada variável determinada para composição do método decisório AHP.

Categoria	Critério	Justificativa
Inocuidade	Ausência de manutenção Preditiva	Elementos de máquina podem se soltar e contaminar o processo produtivo, algo que poderia ser acompanhado/evitado com a manutenção preditiva
	Erro Humano (Interferência Humana)	Erro relacionado a operação do maquinário ou aos procedimentos de limpeza podem contaminar o produto
	Processo de lubrificação	Há o risco de contaminar o produto decorrente do tipo de graxa ou do processo inadequado de lubrificação
Produtividade	MTBF	Se este critério apresentar um valor pequeno, há o indicativo de várias paradas em um curto espaço de tempo, essas paradas refletem no tempo disponível de operação do maquinário, consequentemente na produção
	Perda de produtividade	A perda de produtividade pode estar relacionada tanto com o tempo de maquinário parado quanto com a contaminação do produto
Custo	MTTR	Elevados valores de MTTR indicam que as paradas para manutenção são demoradas, o que está relacionado com o custo de serviços e à perda de produção decorrente do tempo parado
	Peças e serviços	São custos relativos aos processos de manutenção
Manutenção	Mantenabilidade	Deve ser considerada a capacidade de retornar o ativo a sua condição esperada de funcionamento
	Disponibilidade	Está relacionado com o tempo em que a máquina está disponível, quanto maior este tempo, maior o aproveitamento de produção
	Ocorrência de falhas	Este critério demanda a necessidade de manutenção corretiva, podendo reduzir o tempo de produção do maquinário

Quadro 7 – Justificativa das variáveis utilizadas na composição do método AHP.
Fonte: autoria própria.

Com as variáveis determinadas, segue-se com a aplicação do método decisório AHP visando apontar as prioridades das estratégias de manutenção para máquina cobrideira.

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO AHP

A aplicação do método decisório AHP é desenvolvida por meio de comparações paritárias entre categorias e critérios definidos (variáveis), para cada julgamento, todas as variáveis apontadas são avaliadas entre si, sendo essas comparações feitas em pares. Para que ocorra a comparação paritária, os decisores devem atribuir pesos as variáveis indicadas em cada matriz de julgamento, obedecendo os valores e informações dispostos na Tabela 4 presente no Capítulo 3 desse trabalho.

Para a aplicação do método AHP, as variáveis foram analisadas por três especialistas da área de manutenção industrial, os quais tem suas capacitações e habilidades descritas no Quadro 8.

Especialista	Capacitação e habilidade
E1	<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisadora na área de gestão da manutenção e confiabilidade de ativos industriais; - Professora Pós Doutora na área de manutenção e confiabilidade Industrial; - Atuou na área industrial por 14 anos nas áreas de supervisão, PCM e consultoria de engenharia de manutenção.
E2	<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisador na área de gestão da manutenção e confiabilidade; - Pesquisador na área de risco de ativos industriais; - Professor Doutor titular na área de gestão da manutenção; - Atua em projetos relacionados a gestão de manutenção em empresas do ramo: hidroelétrico, alimentício e metalúrgico; - Atuou na área industrial do setor elétrico (manutenção).
E3	<ul style="list-style-type: none"> - Acadêmico e pesquisador na área de gestão da manutenção industrial.

Quadro 8 – Caracterização dos especialistas.

Fonte: autoria própria.

Esses especialistas atribuíram valores da constante de escala para cada variável definida no método. Foram geradas, para comparação paritária dos decisores, quinze matrizes, sendo: uma em relação ao objetivo, quatro em relação às categorias e dez relacionadas as alternativas. Ao final de cada julgamento, o vetor prioridade foi calculado e avaliado, caso a razão de consistência não for satisfeita ($RC < 0,1$), os julgamentos devem ser revistos até que apresentem um valor de índice de consistência aceitável.

A Tabela 8 apresenta as comparações paritárias entre as categorias, realizadas pelo especialista 3 (E3), as demais comparações paritárias dos decisores encontram-se nos **APÊNDICES B, C, e D**. O julgamento dessa matriz deve ser realizado buscando responder a seguinte pergunta:

“Qual a influência das categorias na definição das estratégias de manutenção?”.

Tabela 8 – Julgamentos relativos às comparações entre as categorias à luz do objetivo de aplicação do método (Especialista 3).

Categoria X Categoria	Inocuidade	Produtividade	Custo	Manutenção	Prioridade	RC
Inocuidade	1	5	4	3	0,542	0,08
Produtividade	1/5	1	1/2	2	0,134	
Custo	1/4	2	1	3	0,220	
Manutenção	1/3	1/2	1/3	1	0,103	

Fonte: Autoria própria.

As categorias são comparadas entre si formando uma matriz 4x4, de maneira que a diagonal principal da matriz é unitária, ou seja, a categoria comparada com ela mesma apresenta a mesma importância. Compara-se, sempre, a categoria da linha em relação as categorias das colunas, logo, na primeira linha (Tabela 8) , são feitas as comparações do risco de perda de inocuidade do produto em relação à produtividade, ao custo e à manutenção.

Assim, o risco de perda de inocuidade em relação à produtividade apresenta a importância de escala igual a 5, demarcando que a inocuidade é fortemente mais importante em relação a produtividade. É possível observar também que obedecendo ao axioma 1, quando a produtividade é comparada com a perda de inocuidade do produto, é apresentado um valor de julgamento igual a 1/5, ou seja, a produtividade é fortemente menos importante que a perda de inocuidade do produto.

Para este especialista (E3), o resultado da comparação entre as categorias estabelece que o risco de perda de inocuidade do produto é a categoria de maior relevância. A prioridade é calculada a partir das equações 7 e 8, enquanto a Razão de consistência (RC) é obtida a partir da Equação 10, evidenciando que a matriz é consistente, pois apresenta RC = 0,08.

Após a comparação paritária realizada para o nível das categorias, efetua-se a comparação dos critérios, sendo que cada avaliação deve responder a seguinte pergunta:

“Dentre os critérios envolvidos nesta categoria, qual critério é mais importante para considerar na decisão das estratégias de manutenção?”.

A Tabela 9 mostra o resultado da comparação dos critérios em relação à categoria de perda de inocuidade do produto feita pelo especialista E1. Esta avaliação é realizada para verificar como a perda de inocuidade do produto pode ser influenciada pelos critérios de “ausência de manutenção preditiva”, “erro humano” e “processo de lubrificação”, respondendo à pergunta supracitada.

Tabela 9 – Julgamentos relativos às comparações entre os critérios à luz da categoria de perda de inocuidade do produto (Especialista 1).

Critério X Critério	Ausência de manutenção preditiva	Erro humano	Processo de lubrificação	Prioridade	RC
Ausência de manutenção preditiva	1	1/5	1/5	0,091	
Erro humano	5	1	1	0,455	0
Processo de lubrificação	5	1	1	0,455	

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que, com base no vetor prioridade, o critério de interferência humana (erro humano) e o processo de lubrificação são os mais importantes para determinar as estratégias de manutenção a serem adotadas na máquina cobrideira em relação ao risco de perda de inocuidade do produto, pelo julgamento do especialista E1.

Por último o nível de comparações a ser realizado é referente às alternativas: Manutenção preditiva, Manutenção preventiva, Manutenção corretiva, Manutenção autônoma e RCM. Essas alternativas devem ser avaliadas para cada critério, respondendo as seguintes perguntas:

- Ausência de manutenção preditiva: **“Qual estratégia de manutenção é mais importante para solucionar a ausência de manutenção preditiva?”;**
- Erro Humano: **“Qual estratégia de manutenção é mais importante para evitar o erro humano na manutenção?”;**

- Processo de lubrificação: “Qual a estratégia de manutenção que vai melhorar Processo de lubrificação”;
- MTBF: “Qual estratégia de manutenção é mais importante para aumentar MTBF”;
- Perda de produtividade: “Qual a melhor estratégia de manutenção para reduzir/eliminar a Perda de produtividade”;
- MTTR: “Qual estratégia de manutenção é mais importante para reduzir o MTTR”;
- Peças e Serviços: “Qual a estratégia de manutenção mais eficaz na redução de trocas de peças e utilização de serviços”;
- Manutenibilidade: “Qual a estratégia de manutenção que irá reduzir o TTR dos consertos”;
- Disponibilidade: “Qual a estratégia de manutenção que irá aumentar a Disponibilidade da máquina cobrideira”;
- Taxa de intensidade de ocorrência de falhas: “Qual estratégia de manutenção é mais importante para reduzir/eliminar a Taxa de Ocorrência de Falhas”.

A Tabela 10 apresenta os julgamentos do último nível da hierárquica (Alternativa x Alternativa) efetuados pelo Especialista E2 para o critério “Erro Humano”.

Tabela 10 - Julgamentos das alternativas à luz do critério Erro Humano (Especialista 2).

Alternativa X Alternativa	Manutenção Preditiva	Manutenção Preventiva	⁽¹⁾ Man. Corretiva	⁽²⁾ Man. autônoma	FMEA	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	4	1/6	5	0,189	
Manutenção Preventiva	1	1	5	1/4	2	0,162	
Manutenção Corretiva	1/4	1/5	1	1/9	1	0,049	0,08
Manutenção autônoma	6	4	9	1	4	0,525	
RCM	1/5	1/2	1	1/4	1	0,073	

Fonte: Autoria própria.

* (1) – Manutenção Corretiva;

* (2) – Manutenção Autônoma;

Pelo julgamento do especialista (E2), a alternativa (estratégia de manutenção) relevante para evitar o erro humano no processo de manutenção e operação da máquina cobrideira é a Manutenção Autônoma, pois essa apresentou a prioridade de 0,525 na matriz de julgamento.

Após efetuado o julgamento das quinze matrizes pelos três especialistas, obtém-se o resultado final da aplicação do método hierárquico decisório AHP, visando evidenciar as estratégias de manutenção relevantes para melhorar o desempenho de manutenção e produtividade da máquina cobrideira.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do método hierárquico decisório AHP, obtido por meio do julgamento dos três especialistas são apresentados no Quadro 9.

Alternativas	Resultado/Especialista		
	E1	E2	E3
Manutenção Preditiva	0,191	0,246	0,189
Manutenção Preventiva	0,250	0,180	0,239
Manutenção Corretiva	0,032	0,042	0,037
Manutenção Autônoma	0,273	0,327	0,301
RCM	0,254	0,205	0,234

Quadro 9 – Resultado das alternativas para os especialistas.

Fonte: Autoria própria.

Para os três especialistas, individualmente, o resultado do método aponta para a estratégia de Manutenção Autônoma como a mais eficaz para melhoria do desempenho de manutenção e produtividade da máquina cobrideira.

As colunas do Quadro 9 correspondem ao vetor prioridade global de cada especialista, os quais foram obtidos pelo cálculo do vetor prioridade: das categorias, dos critérios e das alternativas. O detalhamento do cálculo desses vetores estão presentes nos quadros 10, 11, 12.

Categorias	Risco de Perda de Inocuidade			Produtividade		Custo		Manutenção			Prioridade Geral
	0,585			0,108		0,048		0,259			
Critérios	Ausência de manutenção preditiva	Erro Humano	Processo de lubrificação	MTBF	Perda de produtividade	MTTR	Peças e Serviços	⁽¹⁾ Mant.	⁽²⁾ Disp.	⁽³⁾ Taxa de Ocor. falhas	-
		0,091	0,455	0,455	0,875	0,125	0,900	0,100	0,444	0,444	
Man. Preditiva	0,403	0,135	0,140	0,136	0,151	0,220	0,225	0,386	0,156	0,302	0,191
Man. Preventiva	0,079	0,158	0,386	0,349	0,101	0,220	0,090	0,123	0,346	0,092	0,250
Man. Corretiva	0,035	0,031	0,031	0,031	0,031	0,033	0,037	0,033	0,030	0,033	0,032
Man. Autônoma	0,079	0,511	0,221	0,136	0,358	0,120	0,100	0,072	0,346	0,092	0,273
FMEA	0,403	0,165	0,221	0,349	0,358	0,406	0,548	0,386	0,122	0,482	0,254

Quadro 10 – Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 1.

Fonte: Autoria própria.

Categorias	Risco de Perda de Inocuidade			Produtividade		Custo		Manutenção			Prioridade Geral
	0,439			0,376		0,105		0,080			
Critérios	Ausência de manutenção preditiva	Erro Humano	Processo de lubrificação	MTBF	Perda de produtividade	MTTR	Peças e Serviços	⁽¹⁾ Mant.	⁽²⁾ Disp.	⁽³⁾ Taxa de Ocor. falhas	-
		0,187	0,655	0,158	0,875	0,125	0,900	0,100	0,182	0,672	
Man. Preditiva	0,253	0,189	0,138	0,308	0,180	0,196	0,221	0,253	0,433	0,284	0,246
Man. Preventiva	0,454	0,162	0,406	0,108	0,095	0,201	0,095	0,151	0,090	0,080	0,180
Man. Corretiva	0,085	0,050	0,031	0,035	0,033	0,029	0,040	0,036	0,033	0,033	0,042
Man. Autônoma	0,137	0,525	0,247	0,329	0,346	0,169	0,099	0,111	0,057	0,112	0,327
FMEA	0,070	0,073	0,178	0,221	0,346	0,406	0,545	0,448	0,388	0,491	0,205

Quadro 11 - Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 2.

Fonte: Autoria própria.

Categorias	Risco de Perda de Inocuidade			Produtividade		Custo		Manutenção			Prioridade Geral
	0,542			0,134		0,220		0,103			
Critérios	Ausência de manutenção preditiva	Erro Humano	Processo de lubrificação	MTBF	Perda de produtividade	MTTR	Peças e Serviços	⁽¹⁾ Mant.	⁽²⁾ Disp.	⁽³⁾ Taxa de Ocor. falhas	-
		0,115	0,480	0,405	0,250	0,750	0,875	0,125	0,277	0,595	
Man. Preditiva	0,427	0,137	0,099	0,212	0,171	0,191	0,285	0,369	0,334	0,327	0,189
Man. Preventiva	0,172	0,161	0,393	0,336	0,247	0,201	0,169	0,232	0,179	0,214	0,239
Man. Corretiva	0,035	0,032	0,036	0,027	0,039	0,041	0,040	0,053	0,046	0,039	0,037
Man. Autônoma	0,035	0,548	0,242	0,220	0,222	0,282	0,136	0,187	0,140	0,140	0,301
FMEA	0,330	0,122	0,229	0,205	0,321	0,284	0,369	0,158	0,301	0,280	0,234

Quadro 12 - Prioridade das categorias, critérios e alternativas para o Especialista 3.

Fonte: Autoria própria.

* (1) - Manutenibilidade;

* (2) - Disponibilidade;

* (3) - Taxa de Ocorrência de Falhas;

Nos Quadros 10, 11 e 12 são apresentados os resultados referentes a avaliação dos especialistas, contendo os vetores prioridade de todas as matrizes de comparação. Nesta análise foi apontada como prioridade, a nível de categoria, o risco de perda de inocuidade do produto, com valor de constante de escala de: 0,585 para E1, 0,439 para E2 e 0,542 para E3. Esse resultado deve-se a necessidade de manter a inocuidade do produto na indústria alimentícia, fator característico deste processo, que direciona a modelagem das estratégias de gestão industrial.

Na Figura 11, se apresenta a árvore de resultados da aplicação do método AHP, apresentando as prioridades obtidas para os níveis hierárquicos de categorias e critérios.

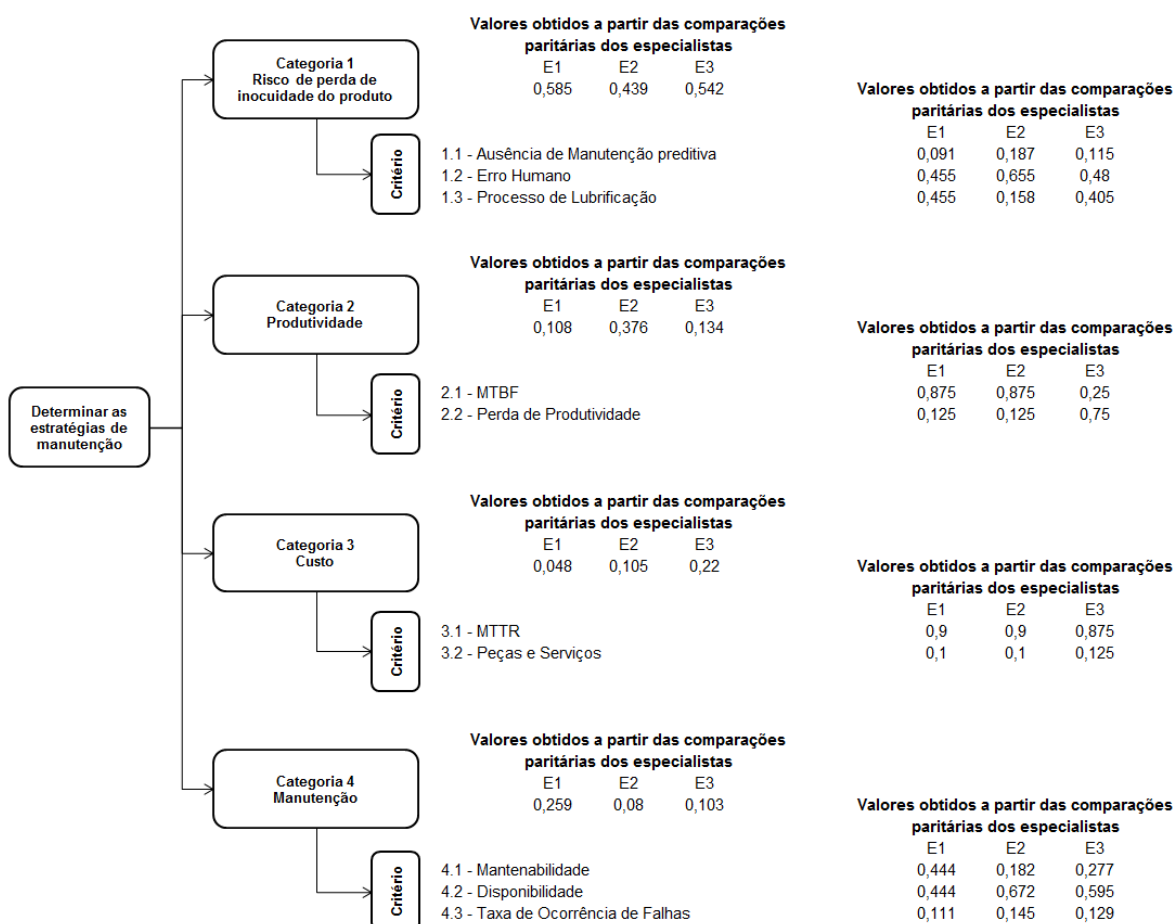


Figura 11 – Árvore de resultados.
Fonte: autoria própria.

Nas matrizes de julgamento, com a constante de escala atribuída às variáveis, conjuntamente com o vetor prioridade global de cada especialista calculado, deve-se aplicar o método de agregação de julgamentos AIP. Para tanto, calcula-se a média geométrica entre os resultados (vetor prioridade global) dos especialistas, considerando o mesmo peso de avaliação para cada decisor. O resultado da agregação de julgamento é mostrado na coluna “**Resultado**” do Quadro 13.

Alternativas	Desempenho/Especialista			Resultado (AIP)
	E1	E2	E3	
Manutenção Preditiva	0,191	0,246	0,189	0,207
Manutenção Preventiva	0,250	0,180	0,239	0,221
Manutenção Corretiva	0,032	0,042	0,037	0,037
Manutenção Autônoma	0,273	0,327	0,301	0,300
FMEA	0,254	0,205	0,234	0,230

Quadro 13 - Agregação de Julgamento (AIP).
Fonte: Autoria própria.

Com a agregação dos resultados individuais, obtém-se o resultado final da aplicação do método AHP. O Quadro 14 mostra a classificação geral das estratégias de manutenção de forma ordenada, uma vez que o AHP é um método decisório de ordenação.

Alternativas	Classificação (Ordenada)
Manutenção Autônoma	1
FMEA	2
Manutenção Preventiva	3
Manutenção Preditiva	4
Manutenção Corretiva	5

Quadro 14 – Classificação geral das estratégias de manutenção.
Fonte: autoria própria.

Então, verifica-se que a alternativa prioritária a ser aplicada na máquina cobradora é a manutenção autônoma, que engloba tarefas de: limpeza, inspeção, manutenção e padronização dos processos.

A limpeza dos equipamentos deve ser realizada com a finalidade de eliminar poeira, sujeiras, vazamentos, expor anomalias e acabar com o que é desnecessário para a operação da máquina. A falta de limpeza ou a limpeza realizada de maneira incorreta pode esconder as anomalias, levando a máquina a falhar ou levar à contaminação do produto.

Como foi evidenciado anteriormente, a interferência humana no processo de manutenção e operação da máquina cobrideira é um fator de extrema importância em relação à perda de inocuidade do produto, que é a categoria de maior criticidade para os três especialistas.

A eliminação ou redução dos danos ocasionados pela interferência humana no processo pode ser feita com a padronização de processos de operação e limpeza por meio da constituição de Instrução de Trabalho (IT) e LPP's (Lição Ponto a Ponto).

As LPP's são utilizadas para transmitir o conhecimento de um operador qualificado, em relação aos processos de limpeza, operação e inspeção, para os demais colaboradores envolvidos com essas atividades. Já as IT's, por conter teor técnico de maior complexidade, devem ser elaboradas com maior criteriosidade e efetuado treinamento aos colaboradores responsáveis pela execução de tais atividades técnicas.

A manutenção autônoma utiliza-se de etiquetas para evidenciar avarias identificadas pelos operadores e mantenedores. As etiquetas são utilizadas para evidenciar os problemas da máquina, sendo que as etiquetas azuis identificam problemas que os operadores possam resolver, enquanto as vermelhas se referem à necessidade de mão-de-obra qualificada para realizar a manutenção. Com isso é possível evidenciar a quantidade de anomalias presente na máquina, contando com a participação de todos os colaboradores envolvidos na operação ou na manutenção deste maquinário.

Em segundo lugar, destaca-se a Tratativa de Falhas pela utilização da análise FMEA, visto que essa alternativa teve importância elevada decorrente da busca por confiabilidade e segurança de operação da máquina, buscando o equilíbrio entre as práticas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

Em terceiro lugar, apresenta-se a Manutenção Preventiva. Esta estratégia de manutenção evidencia os maiores valores de criticidade no critério "Processo de Lubrificação" dentro da categoria "Risco de perda de inocuidade do produto". Isto evidencia que a lubrificação, se realizada de maneira incorreta, pode levar ao prejuízo

não apenas de desgaste do maquinário, mas de contaminação do produto. A lubrificação também pode ser evidenciada como etapa crítica da manutenção preventiva pelo número de falhas relacionadas a este processo apresentadas no APÊNDICE A.

A Manutenção Preditiva apresentou-se com prioridade menor que a Manutenção preventiva, pode-se atribuir este fato devido o processo de lubrificação, o qual enquadrado na manutenção preventiva, apresentar-se como um potencial foco de contaminação e assim deve ter prioridade em sua tratativa do que aplicação de técnicas preditivas. Porém, as técnicas preditivas necessárias para garantia de disponibilidade e confiabilidade da máquina cobrideira, podem ser determinadas durante a implantação da metodologia RCM.

Já, como a máquina cobrideira é um ativo industrial que não apresenta backup e o processo produtivo no qual está empregada é uma linha de produção em série, a manutenção corretiva deve ser evitada pois impacta diretamente na produtividade desse ativo industrial e na disponibilidade e confiabilidade do sistema produtivo como um todo.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÃO

Como proposto no objetivo geral, este estudo de caso aborda a aplicação do método hierárquico decisório AHP para seleção das apropriadas técnicas e estratégias de manutenção para uma máquina cobrideira de alimentos.

A aplicação do método e a análise dos resultados apontam que a categoria de maior criticidade para os três decisores, quanto à determinação das estratégias de manutenção, foi o risco de perda de inocuidade do produto, evidenciando a preocupação com problemas relacionados à contaminação. Como resultado da aplicação do método decisório AHP, por meio da agregação do julgamento (dos três especialistas) utilizando o método AIP, a Manutenção Autônoma foi a estratégia de manutenção determinada como prioritária para ser adotada e, assim destinados os recursos humanos, materiais e financeiros a esta atividade.

O resultado final do método foi obtido com a agregação dos resultados (vetor prioridade global) de cada especialista, por meio da aplicação do Método de agregação individual de julgamentos AIP, e apresenta em ordem de classificação as estratégias: Manutenção Autônoma (peso 0,300) , FMEA (peso 0,230), Manutenção Preventiva (peso 0,221), Manutenção Preditiva (peso 0,207) e por último Manutenção Corretiva (peso 0,037), a qual o peso representado e de valor discrepante das demais alternativas, já mostra que deve ser evitada.

A escolha dos critérios e categorias para a composição da hierarquia foi embasada nos estudos correlatos e nos dados disponíveis de produção e histórico de falhas da máquina cobrideira. Esta máquina foi escolhida para a aplicação do método AHP para determinar as estratégias de manutenção por ser um ativo crítico dentro do processo produtiva na qual está empregada, devido: não apresentar backup ativo ou passivo; apresentar pontos de lubrificação expostos que podem ser contaminados com alimentos, água e desinfetantes durante o processo de limpeza e higienização; operar com os produtos sem embalagem, proporcionando contato diretamente com o alimento.

A priorização das estratégias de manutenção a serem adotadas para a máquina cobrideira, por meio da aplicação do método AHP, se apresenta de maneira

eficaz, tendo em vista que as variáveis utilizadas na composição da hierárquica contemplam problemas diretamente relacionados com produtividade, custo, manutenção e contaminação do produto.

A classificação obtida nesse trabalho, mostra que os recursos humanos, materiais e financeiros devem ser alocados, em maior percentual, nas atividades de Manutenção autônoma, uma vez que esta estratégia foi determinada como prioritária.

Essa relevância da Manutenção Autônoma no resultado de aplicação do método AHP, deve-se que as atividades ligadas a esse pilar da metodologia TPM pode corroborar: na eliminação e/ou redução significativa dos eventos de falhas relacionadas com a interferência humana no processo de manutenção e operação, na padronização das atividades de manutenção e produção visando reduzir os focos de contaminação do produto e na melhoria de limpeza do maquinário, identificação dos pontos de iniciais da falha (melhorando disponibilidade e confiabilidade).

A aplicação do método decisório facilitou a determinação e priorização das estratégias de manutenção viáveis e adequadas para execução na máquina cobrideira. Pois a vantagem principal desse método é a habilidade inerente de manipular fatores intangíveis, atribuindo-lhe pesos e assim proporcionando consistência para uma tomada de decisão assertiva, fator determinante para gestão das atividades de manutenção industrial.

6.2 RECOMENDAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação da continuação desse trabalho propõe-se:

- Aplicar as estratégias de manutenção na máquina cobrideira e registrar os dados de produção e manutenção após a implantação. Com isso será possível analisar os ganhos decorrentes do direcionamento da estratégia de manutenção proporcionada por este estudo de caso;
- Aplicar nesse estudo de caso o método de agregação de julgamentos AIJ e comparar os resultados obtidos com a agregação de julgamentos pelo método AIP. A utilização do AIJ pode apontar mudanças significativas nos resultados,

pois cada avaliação paritária realizada utilizando o método AHP com a agregação de julgamentos pelo método AIJ tem como base a colaboração de todos os especialistas para cada julgamento de todas as matrizes de comparação;

- Utilizar outro método decisório para auxiliar na tomada de decisão quanto à determinação das estratégias de manutenção e comparar os resultados obtidos com esta outra abordagem com os resultados deste estudo de caso e avaliar a relevância, os pontos positivos e negativos de cada método perante ao objetivo de determinar as estratégias de manutenção;

- Aplicar o método hierárquico decisório AHP para determinar as adequadas estratégias de manutenção para outros ativos da indústria analisada neste estudo de caso, buscando não apenas otimizar a manutenção da máquina cobrideira, mas os ativos que compõe a linha produtiva a qual esta máquina está inserida com o objetivo de melhorar todo o processo de manutenção desta indústria.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. Documento Nacional: **A situação da manutenção no Brasil**. 28º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos. Salvador, 2013.

ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. Documento Nacional: **A situação da manutenção no Brasil**. 2015. 1 disco laser.

AHMED, Qadeer; KHAN, Faisal; AHMED, Salim. Improving safety and availability of complex systems using a risk-based failure assessment approach. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 32, p. 218-229, 2014.

AL-NAJJAR, Basim. The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 260-273, 2007.

AL-NAJJAR, Basim; ALSYOUF, Imad. Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: A case study. **European Journal of Operational Research**, v. 157, n. 3, p. 643-657, 2004.

ARUNRAJ, N. S.; MAITI, J. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. **Safety science**, v. 48, n. 2, p. 238-247, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva)

BARTZ, Teonas; CEZAR MAIRESSE SILUK, Julio; PAULA BARTH BARTZ, Ana. Improvement of industrial performance with TPM implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 20, n. 1, p. 2-19, 2014.

BELINELLI, Marjorie Maria. Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia. 315 Folhas. Tese de Doutorado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 2015.

BEN-DAYA, Mohamed. You may need RCM to enhance TPM implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 6, n. 2, p. 82-85, 2000.

BEN-DAYA, Mohamed et al. Handbook of Maintenance Management and Engineering. 2009.

BERTOLINI, Massimo; BEVILACQUA, Maurizio. A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 91, n. 7, p. 839-848, 2006.

BEVILACQUA, Maurizio; BRAGLIA, Marcello. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 70, n. 1, p. 71-83, 2000.

BRUNELLI, Matteo. **Introduction to the Analytic Hierarchy Process**. Springer, 2014.

DE OLIVEIRA, CLEBER ALMEIDA; BELDERRAIN, Mischel Carmen N. Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades no AHP. 2008.

DHILLON, Balbir S. **Engineering maintenance: a modern approach**. CRC Press, 2002.

DHILLON, Balbir S. **Maintainability, maintenance, and reliability for engineers**. CRC Press, 2006.

DIN, E. N. 13306.(2010). **Maintenance–Maintenance terminology**.

ENOFE, Obamwonyi Martyn; AIMIENROVBIYE, Gregory. Maintenance impact on Production Profitability-A Case Study. 2010.

ESCOBAR, María Teresa; MORENO-JIMÉNEZ, José María. Aggregation of individual preference structures in AHP-group decision making. **Group Decision and Negotiation**, v. 16, n. 4, p. 287-301, 2007.

FORE, Stanley; MUDAVANHU, Thabani. Application of RCM for a chipping and sawing mill. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 9, n. 2, p. 204-226, 2011.

FORMAN, Ernest; PENIWATI, Kirti. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 108, n. 1, p. 165-169, 1998.

FRANEK, Jiří; KRESTA, Aleš. Judgment scales and consistency measure in AHP. **Procedia Economics and Finance**, v. 12, p. 164-173, 2014.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo**, v. 5, p. 61, 2002.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas v. 5, 2010.

GOOSSENS, Adriaan JM; BASTEN, Rob JI. Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 31-41, 2015.

HAILEMARIAM, Matias. Business Driven Maintenance Strategy Development with Performance Indicators. 2009.

HAJSHIRMOHAMMADI, Ali; WEDLEY, William C. Maintenance management-an AHP application for centralization/decentralization. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 1, p. 16-25, 2004.

HOOI, Lai Wan et al. Total productive maintenance and manufacturing performance improvement. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 23, n. 1, p. 2-21, 2017.

ILANGKUMARAN, M.; KUMANAN, Somasundaram. Application of hybrid VIKOR model in selection of maintenance strategy. **International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJSSCM)**, v. 5, n. 2, p. 59-81, 2012.

KHANLARI, Amir; MOHAMMADI, Kaveh; SOHRABI, Babak. Prioritizing equipments for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules. **Computers & Industrial Engineering**, v. 54, n. 2, p. 169-184, 2008.

KIANFAR, Azadeh; KIANFAR, Ferydoon. Plant function deployment via RCM and QFD. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 16, n. 4, p. 354-366, 2010.

KOBBACY, Khairy Ahmed Helmy; MURTHY, DN Prabhakar (Ed.). **Complex system maintenance handbook**. Springer Science & Business Media, 2008.

KUMAR, Edwin Vijay; CHATURVEDI, S. K.; DESHPANDÉ, A. W. Maintenance of industrial equipment: Degree of certainty with fuzzy modelling using predictive maintenance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 26, n. 2, p. 196-211, 2009.

KUMAR, Uday et al. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, p. 233-277, 2013.

MALETIČ, Damjan et al. An application of analytic hierarchy process (AHP) and sensitivity analysis for maintenance policy selection. **Organizacija**, v. 47, n. 3, p. 177-188, 2014.

MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Camello. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 11, n. 22, p. 35-42, 2003.

MATOS, João Silva. Estudo do impacto da implementação do tpm numa fábrica de componentes para automóveis. **Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em manutenção industrial**, Porto, 2016.

MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance: 2 edition**. [S.L.]: Butterworth-Heinemann, 2002. 437 p.

MOBLEY, R. Keith; HIGGINS, Lindley R.; WIKOFF, Darrin. **Maintenance engineering handbook**. 8th Edition ed. [S.L.]: McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.

MOBLEY, R. Keith. **Maintenance fundamentals**: 2 edition. [S.L.]: Butterworth-Heinemann, 2004. 424 p.

MUCHIRI, Peter et al. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 295-302, 2011.

NARAYAN, Venkatraman. Business performance and maintenance: How are safety, quality, reliability, productivity and maintenance related?. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 2, p. 183-195, 2012.

NBR, ABNT. 5462-TB116: Confiabilidade e manutenibilidade. **Rio de Janeiro**, 1994.

PARIDA, Aditya. Study and analysis of maintenance performance indicators (MPIs) for LKAB: a case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 13, n. 4, p. 325-337, 2007.

PARIDA, Aditya; KUMAR, Uday. Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 3, p. 239-251, 2006.

PARIDA, Aditya et al. Performance measurement and management for maintenance: a literature review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 1, p. 2-33, 2015.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RAMADHAN, Rezaqallah H.; AL-ABDUL WAHHAB, Hamad I.; DUFFUAA, Salih O. The use of an analytical hierarchy process in pavement maintenance priority ranking. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 5, n. 1, p. 25-39, 1999.

RODRÍGUEZ-PADIAL, N.; MARÍN, M.; DOMINGO, R. Strategic Framework to Maintenance Decision Support Systems. **Procedia Engineering**, v. 132, p. 903-910, 2015.

SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3, p. 161-176, 1987.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, Thomas L. The Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Analytic Network Process (ANP) for Decision Making. AIM Workshop on the Mathematics of Ranking. August 16 to August 20, 2010 at the American Institute of Mathematics in Palo Alto.

SAWHNEY, Rapinder et al. A modified FMEA approach to enhance reliability of lean systems. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 7, p. 832-855, 2010.

SELLITTO, Miguel Afonso; FACCHINI, Silmar José. Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma empresa de metalmeccânica. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 7, n. 1, p. 49-66, 2014.

SHARMA, Rajiv Kumar; KUMAR, Dinesh; KUMAR, Pradeep. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 22, n. 9, p. 986-1004, 2005.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muzkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, 2005.

SIMEU-ABAZI, Zineb; SASSINE, Chadi. Maintenance integration in manufacturing systems: from the modeling tool to evaluation. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 13, n. 3, p. 267-285, 2001.

SIPAHI, Seyhan; TIMOR, Mehpare. The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. **Management Decision**, v. 48, n. 5, p. 775-808, 2010.

SMITH, Anthony M. **Reliability-centered maintenance**. New York: McGraw-Hill, 1993.

SMITH, Ricky; MOBLEY, R. Keith. **Industrial machinery repair: best maintenance practices pocket guide**. Butterworth-Heinemann, 2003.

TRIANAPHYLLOU, Evangelos et al. Determining the most important criteria in maintenance decision making. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 3, n. 1, p. 16-28, 1997.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos. Sistema de Bibliotecas. Curitiba, 2008.

VARGAS, Luis G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 2-8, 1990.

VELMURUGAN, R. S.; DHINGRA, Tarun. Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 12, p. 1622-1661, 2015.

WAEYENBERGH, Geert; PINTELON, Liliane. A framework for maintenance concept development. **International journal of production economics**, v. 77, n. 3, p. 299-313, 2002.

WANG, Ling; CHU, Jian; WU, Jun. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 151-163, 2007.

APÊNDICE A - Eventos de falha da máquina cobrideira

(Início)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2010	1	Trinca	Troca da esteira metálica	07/jan	4,5
2010	2	Eletroeletrônico/Instrumentação	Falha no sistema de aquecimento (resistências) da caixa inferior de recirculação de calda (chocolate) da cobrideira/trocado BASE DE RELE INDUSTRIAL FINDER 5534/disjuntor desarmando, pois, a corrente nominal é menor	12/jan	2,15
2010	3	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	15/jan	2,15
2010	4	Lubrificação	Troca de eixo, mancal e rolamentos no sistema de bombeamento de calda	22/jan	6,8
2010	5	Processo de Limpeza e higienização	Trocado o controlador de temperatura NOVUS 1100 e parametrizado. O controlador danificou devido ao processo de limpeza e higienização	28/jan	2,5
2010	6	Lubrificação	Rolamentos, troca de esteira metálica (aço INOX 304 PAS 5 mm fio 1mm - 9m)	05/fev	9
2010	7	Processo de Limpeza e higienização	Desmontada e montada a engrenagem para limpeza e higienização	15/fev	2,5
2010	8	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado a configuração da temperatura da cobrideira no controlador N1100 (Controlador de temperatura 220v AC NOVUS 1100)	19/fev	4
2010	9	Lubrificação	Trocado eixo, bucha e rolamentos. Relubrificação	03/mar	5
2010	10	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	07/mar	2
2010	11	Desgaste	Troca do selo mecânico do sistema de bombeamento da cobrideira	16/mar	7
2010	12	Lubrificação	Vazamento motorreductor	19/mar	3,5
2010	13	Eletroeletrônico/Instrumentação	Falha no sistema de aquecimento (resistências) da caixa inferior de recirculação de calda (chocolate) da cobrideira/trocado BASE DE RELE INDUSTRIAL FINDER 5534/disjuntor desarmando, pois, a corrente nominal é menor	25/mar	1,8
2010	14	Desgaste	Substituição das engrenagens (sistema de tração) da esteira metálica	25/mar	2

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2010	15	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuado a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	31/mar	2,5
2010	16	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado a configuração da temperatura da cobrideira no controlador N1100 (Controlador de temperatura 220v AC NOVUS 1100)	11/abr	4
2010	17	Vedação/Conexão danificada	Reapertado conexões da tubulação de água quente da cobrideira	17/mai	3
2010	18	Trinca	Realizado emendas nos pontos fraturados da esteira metálica	23/mai	1
2010	19	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	28/mai	0,7
2010	20	Desgaste	Troca dos rebarbadores da esteira metálica e ajuste no sensor de nível que não estava atuando	05/jun	2,75
2010	21	Lubrificação	Vazamento motorreductor	18/ago	4,3
2010	22	Lubrificação	Troca de eixo, mancal e rolamentos e relubrificação	31/ago	6,75
2010	23	Eletroeletrônico/Instrumentação	Limpeza e ajuste de sensor	08/set	0,2
2010	24	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	22/set	2
2010	25	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	26/set	0,7
2010	26	Elétrico	Trocado o disjuntor geral da cobrideira devido a mal contado	28/set	1,15
2010	27	Vedação/Conexão danificada	Manutenção na bomba da caixa superior da cobrideira (calha de calda) devido a vazamento de chocolate	03/out	3,35
2010	28	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	15/out	2
2010	29	Trinca	Trocado esteira metálica	24/out	5,5
2010	30	Lubrificação	Trocado rolamento e bucha e relubrificação	07/nov	2,5

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2010	31	Trinca	Trocado a esteira metálica, a mesma rompeu em dois pontos	11/nov	2,7
2010	32	Lubrificação	Trocados rolamentos, esteira metálica e relubrificação	11/nov	9
2010	33	Desgaste	Trocado engrenagens	18/nov	1,5
2010	34	Lubrificação	Trocados rolamentos, esteira metálica e relubrificação	25/nov	6
2010	35	Vedação/Conexão danificada	Trocado elementos de vedação da bomba de retorno de chocolate	02/dez	3,25
2010	36	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	18/dez	2,5
2010	37	Vedação/Conexão danificada	Eliminado o vazamento no sistema de bombeamento de retorno da cobrideira	22/dez	1,15
2010	38	Processo de Limpeza e higienização	Verificar controlador de temperatura/trocado o controlador e parametrizado	27/dez	2,5
2010	39	Entupimento de Tubulação	Efetuada a manutenção no sistema de retorno devido a cristalização de chocolate na bomba	27/dez	3
2010	40	Lubrificação	Vazamento motorreductor	29/dez	3,15
2010	41	Desgaste	Trocado engrenagens	30/dez	1,5
2011	42	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	10/jan	1,75
2011	43	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na cobrideira/trocadas as conexões PU das mangueiras	21/jan	0,5
2011	44	Trinca	Manutenção na esteira metálica	26/jan	2
2011	45	Lubrificação	Vazamento motorreductor	29/jan	5
2011	46	Desgaste	Trocado engrenagens	16/fev	2,25
2011	47	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	08/mar	0,75
2011	48	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	10/abr	2
2011	49	Desgaste	Ajustar rebarbador da cobrideira, o mesmo estava emperrado	19/abr	1

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2011	50	Lubrificação	Vazamento motorreductor	22/abr	4,5
2011	51	Processo de Limpeza e higienização	Verificar controlador de temperatura/trocado o controlador e parametrizado	03/mai	2,5
2011	52	Eletroeletrônico/Instrumentação	Manutenção no regulador de abertura de chocolate da cobrideira	20/mai	1,75
2011	53	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	17/jun	2
2011	54	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	24/jun	2,5
2011	55	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	02/jul	1,5
2011	56	Elétrico	Trocado a resistência de imersão da caixa inferior da cobrideira e troca de contadores queimados	18/ago	2,75
2011	57	Entupimento de Tubulação	Desmontada e desentupida a tubulação (chocolate endurecido)	02/set	6,26
2011	58	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	05/set	0,8
2011	59	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuado a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	16/set	2,5
2011	60	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	05/out	0,5
2011	61	Vedação/Conexão danificada	Eliminado o vazamento no sistema de bombeamento de retorno da cobrideira	20/out	1,5
2011	62	Lubrificação	Rolamentos, esteira metálica e relubrificação	22/out	8,5
2011	63	Trinca	Realizado emendas nos pontos fraturados da esteira metálica	30/out	1,25
2011	64	Lubrificação	Rolamentos, esteira metálica e relubrificação	06/dez	5
2011	65	Eletroeletrônico/Instrumentação	Manutenção no regulador de abertura de chocolate da cobrideira	09/dez	2
2011	66	Lubrificação	Vazamento motorreductor	13/dez	5,5
2011	67	Eletroeletrônico/Instrumentação	Manutenção no regulador de abertura de chocolate da cobrideira	18/dez	1
2011	68	Lubrificação	Sistema de transmissão de força e movimento	18/dez	4

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2011	69	Trinca	Realizado emendas nos pontos fraturados da esteira metálica	23/dez	1
2012	70	Lubrificação	Trocados rolamentos, esteira metálica e relubrificação	18/jan	13
2012	71	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	31/jan	1,8
2012	72	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	02/fev	2,5
2012	73	Elétrico	Troca do contato dos botões liga, desliga e de emergência do painel de controle	02/fev	4,25
2012	74	Trinca	Manutenção na esteira metálica	13/fev	2
2012	75	Lubrificação	Trocado sistema de transmissão de força e movimento e relubrificação	08/mar	3
2012	76	Desgaste	Trocado o rolamento do eixo de tração da esteira, efetuada a limpeza das engrenagens de tração devido a sujeira (restos de matéria prima)	01/abr	4
2012	77	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	04/abr	2
2012	78	Desgaste	Troca do selo mecânico do sistema de bombeamento da cobrideira	06/abr	5
2012	79	Lubrificação	Trocados rolamentos, esteira metálica e relubrificação	13/abr	6
2012	80	Lubrificação	Trocado mancal e rolamentos e lubrificação	04/mai	3,5
2012	81	Elétrico	Verificar falha no abastecimento de chocolate/Sanado falha no comando de abastecimento de chocolate (inversor não estava partindo)	15/mai	3
2012	82	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuada a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	23/mai	2,5
2012	83	Trinca	Troca da esteira metálica	24/mai	8,15
2012	84	Processo de Limpeza e higienização	Verificar controlador de temperatura/trocado o controlador e parametrizado	09/jul	1,75
2012	85	Desgaste	Trocado engrenagens	19/jul	2,5

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2012	86	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuado a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	01/ago	2,5
2012	87	Desgaste	Ajustar rebarbador da cobrideira, o mesmo estava emperrado	10/ago	2
2012	88	Lubrificação	Sistema de transmissão de força e movimento	25/ago	4,5
2012	89	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	02/set	1,5
2012	90	Lubrificação	Trocado bucha, mancal e rolamentos	05/set	3,5
2012	91	Desgaste	Trocado o rolamento do eixo de tração da cobrideira	19/set	3
2012	92	Desgaste	Trocado engrenagens	26/set	1,5
2012	93	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	02/out	2
2012	94	Processo de Limpeza e higienização	Trocado o controlador de temperatura NOVUS 1100 e parametrizado. O controlador danificou devido ao processo de limpeza e higienização	15/out	2,5
2012	95	Lubrificação	Vazamento motorreductor	21/out	3,75
2012	96	Eletroeletrônico/Instrumentação	Manutenção no regulador de abertura de chocolate da cobrideira	05/nov	2
2012	97	Elétrico	Trocado a resistência de imersão da caixa inferior da cobrideira e troca de contadores queimados	22/nov	2,75
2012	98	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	09/dez	2
2012	99	Lubrificação	Vazamento motorreductor	12/dez	4,5
2012	100	Eletroeletrônico/Instrumentação	Manutenção no regulador de abertura de chocolate da cobrideira	28/dez	1,5
2013	101	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	05/jan	2,5
2013	102	Elétrico	Trocado a resistência de imersão da caixa inferior da cobrideira e troca de contadores queimados	31/jan	2,75
2013	103	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	31/jan	1,75

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2013	104	Desgaste	Substituição das engrenagens (sistema de tração) da esteira metálica	18/fev	2
2013	105	Lubrificação	Sistema de transmissão de força e movimento	03/mar	4
2013	106	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	13/mar	1,75
2013	107	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuado a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	22/mar	2,5
2013	108	Trinca	Manutenção na esteira metálica	11/abr	2
2013	109	Desgaste	Trocado o rolamento do eixo de tração da esteira, efetuada a limpeza das engrenagens de tração devido a sujeira (restos de matéria prima)	05/mai	4,75
2013	110	Lubrificação	Vazamento motorreductor	08/mai	3,85
2013	111	Lubrificação	Rolamentos, esteira metálica e relubrificação	20/mai	6
2013	112	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	06/jun	0,75
2013	113	Desgaste	Trocado engrenagens	23/jun	1,5
2013	114	Lubrificação	Vazamento motorreductor	30/jun	2,5
2013	115	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	18/ago	1,5
2013	116	Lubrificação	Sistema de transmissão de força e movimento	12/set	4
2013	117	Desgaste	Substituição das engrenagens (sistema de tração) da esteira metálica	15/set	2
2013	118	Lubrificação	Vazamento motorreductor	30/set	3,75
2013	119	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	09/out	1,5
2013	120	Entupimento de Tubulação	Desmontado a tubulação e eliminado entupimento (chocolate endurecido na tubulação)	15/out	3,5
2013	121	Lubrificação	Relubrificação do sistema de transmissão de força e movimento	20/out	4,25

(Continua)

(Continuação)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2013	122	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	18/nov	2
2013	123	Lubrificação	Trocados Rolamentos, esteira metálica e relubrificação	10/dez	5,5
2013	124	Processo de Limpeza e higienização	Trocado o controlador de temperatura NOVUS 1100 e parametrizado. O controlador danificou devido ao processo de limpeza e higienização	23/dez	2
2014	125	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	21/fev	1,75
2014	126	Trinca	Realizado emendas nos pontos fraturados da esteira metálica	13/mar	1
2014	127	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	20/mar	0,75
2014	128	Entupimento de Tubulação	Entupimento da tubulação de chocolate/retirada a tubulação e efetuada a limpeza para desentupimento	02/abr	1,85
2014	129	Lubrificação	Relubrificação do Sistema de transmissão de força e movimento	28/abr	3,75
2014	130	Desgaste	Substituição das engrenagens (sistema de tração) da esteira metálica	03/mai	2
2014	131	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	27/mai	1,5
2014	132	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	17/jun	1,75
2014	133	Lubrificação	Trocado rolamentos, bucha, mancal e relubrificação	08/ago	5,5
2014	134	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	21/ago	1,85
2014	135	Vedação/Conexão danificada	Eliminar vazamento de água na caixa inferior da cobrideira	14/set	0,45
2014	136	Desgaste	Trocado engrenagens	18/set	1,5
2014	137	Processo de Limpeza e higienização	Desmontagem do eixo de tração das engrenagens para higienização da esteira metálica (chocolate encrostado na estrutura da esteira metálica)	03/out	0,75
2014	138	Lubrificação	Trocado Rolamentos, esteira metálica e relubrificação	20/out	8,5

(Continua)

(Conclusão)

Ano	Falhas (n)	Tipo de Falha	Descrição	Data	TTR (h)
2014	138	Lubrificação	Trocados os Rolamentos, esteira metálica e realizada relubrificação	20/out	8,5
2014	139	Eletroeletrônico/Instrumentação	Ajustado controlador de nível da cobrideira e acompanhado seu funcionamento	03/nov	2,5
2014	140	Entupimento de Tubulação	Verificar válvula de fluxo de abastecimento de chocolate/verificado válvula e efetuado a limpeza pois estava havendo entupimento de chocolate	24/11	2

Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B - Matrizes de comparação (Especialista 1)

Matriz de comparação relativa ao objetivo (E1)

Categoria x Categoria	Inocuidade do produto	Produtividade	Custo	Manutenção	Prioridade	RC
Inocuidade do produto	1	6	9	3	0,585	
Produtividade	1/6	1	3	1/3	0,108	0,030
Custo	1/9	1/3	1	1/6	0,047	
Manutenção	1/3	3	6	1	0,258	

Matriz de comparação relativa à categoria: Risco de perda de inocuidade do produto (E1)

Critério X Critério	Ausência de manutenção preditiva	Erro humano	Processo de lubrificação	Prioridade	RC
Ausência de manutenção preditiva	1	1/5	1/5	0,090	
Erro humano	5	1	1	0,454	0
Processo de lubrificação	5	1	1	0,454	

Matriz de comparação relativa à categoria: Produtividade (E1)

Critério X Critério	MTBF	Perda de Produtividade	Prioridade	RC
MTBF	1	7	0,875	0
Perda de Produtividade	1/7	1	0,125	

Matriz de comparação relativa à categoria: Custo (E1)

Critério X Critério	MTTR	Troca de peças e serviços	Prioridade	RC
MTTR	1	9	0,9	0
Troca de peças e serviços	1/9	1	0,1	

Matriz de comparação relativa à categoria: Manutenção (E1)

Critério X Critério	Mantenabilidade	Disponibilidade	Taxa de Ocorrência de Falhas	Prioridade	RC
Mantenabilidade	1	1	4	0,44	0
Disponibilidade	1	1	4	0,44	
Taxa de Ocorrência de Falhas	1/4	1/4	1	0,11	

Matriz de comparação relativa ao critério: Ausência de manutenção preditiva (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	6	9	6	1	0,40	
Manutenção Preventiva	1/6	1	3	1	1/6	0,07	
Manutenção Corretiva	1/9	1/3	1	1/3	1/9	0,03	0,017
Manutenção autônoma	1/6	1	3	1	1/6	0,07	
RCM	1	6	9	6	1	0,40	

Matriz de comparação relativa ao critério: Erro Humano (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	6	1/9	1	0,13	
Manutenção Preventiva	1	1	6	1/3	1	0,15	
Manutenção Corretiva	1/6	1/6	1	1/9	1/7	0,031	0,065
Manutenção autônoma	9	3	9	1	3	0,510	
RCM	1	1	7	1/3	1	0,164	

Matriz de comparação relativa ao critério: Processo de Lubrificação (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/3	7	1/2	1/2	0,140	
Manutenção Preventiva	3	1	9	2	2	0,385	
Manutenção Corretiva	1/7	1/9	1	1/7	1/7	0,031	0,0205
Manutenção autônoma	2	1/2	7	1	1	0,221	
RCM	2	1/2	7	1	1	0,221	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTBF (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/3	6	1	1/3	0,135	
Manutenção Preventiva	3	1	9	3	1	0,349	
Manutenção Corretiva	1/6	1/9	1	1/6	1/9	0,030	0,017
Manutenção autônoma	1	1/3	6	1	1/3	0,135	
RCM	3	1	9	3	1	0,349	

Matriz de comparação relativa ao critério: Perda de produtividade (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	2	6	1/3	1/3	0,151	
Manutenção Preventiva	1/2	1	5	1/4	1/4	0,101	
Manutenção Corretiva	1/6	1/5	1	1/9	1/9	0,0310	0,0259
Manutenção autônoma	3	4	9	1	1	0,358	
RCM	3	4	9	1	1	0,358	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTTR (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	7	2	1/2	0,220	
Manutenção Preventiva	1	1	7	2	1/2	0,220	
Manutenção Corretiva	1/7	1/7	1	1/5	1/9	0,032	0,0116
Manutenção autônoma	1/2	1/2	5	1	1/4	0,120	
RCM	2	2	9	4	1	0,406	

Matriz de comparação relativa ao critério: Peças e serviços (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	3	6	3	1/3	0,225	
Manutenção Preventiva	1/3	1	3	1	1/6	0,089	
Manutenção Corretiva	1/6	1/3	1	1/5	1/9	0,0368	0,0494
Manutenção autônoma	1/3	1	5	1	1/9	0,100	
RCM	3	6	9	9	1	0,547	

Matriz de comparação relativa ao critério: Manutenibilidade (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	4	9	6	1	0,385	
Manutenção Preventiva	1/4	1	5	2	1/4	0,123	
Manutenção Corretiva	1/9	1/5	1	1/3	1/9	0,033	0,022
Manutenção autônoma	1/6	1/2	3	1	1/6	0,071	
RCM	1	4	9	6	1	0,38	

Matriz de comparação relativa ao critério: Disponibilidade (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/3	6	1/3	2	0,156	
Manutenção Preventiva	3	1	9	1	3	0,345	
Manutenção Corretiva	1/6	1/9	1	1/9	1/6	0,030	0,0309
Manutenção autônoma	3	1	9	1	3	0,345	
RCM	1/2	1/3	6	1/3	1	0,121	

Matriz de comparação relativa ao critério: Taxa de intensidade de ocorrência de falhas (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	5	7	5	1/2	0,301	
Manutenção Preventiva	1/5	1	5	1	1/7	0,091	
Manutenção Corretiva	1/7	1/5	1	1/5	1/9	0,032	0,070
Manutenção autônoma	1/5	1	5	1	1/7	0,091	
RCM	2	7	9	7	1	0,482	

APÊNDICE C - Matrizes de comparação (Especialista 2)

Matriz de comparação relativa ao objetivo (E2)

Categoria x Categoria	Inocuidade do produto	Produtividade	Custo	Manutenção	Prioridade	RC
Inocuidade do produto	1	1	4	7	0,439	0,018
Produtividade	1	1	3	5	0,375	
Custo	1/4	1/3	1	1	0,104	
Manutenção	1/7	1/5	1	1	0,080	

Matriz de comparação relativa à categoria: Risco de perda de inocuidade do produto (E2)

Critério X Critério	Ausência de manutenção preditiva	Erro humano	Processo de lubrificação	Prioridade	RC
Ausência de manutenção preditiva	1	1/3	1	0,186	0,025
Erro humano	3	1	5	0,655	
Processo de lubrificação	1	1/5	1	0,157	

Matriz de comparação relativa à categoria: Produtividade (E2)

Critério X Critério	MTBF	Perda de Produtividade	Prioridade	RC
MTBF	1	7	0,875	0
Perda de Produtividade	1/7	1	0,125	

Matriz de comparação relativa à categoria: Custo (E2)

Critério X Critério	MTTR	Troca de peças e serviços	Prioridade	RC
MTTR	1	9	0,9	0
Troca de peças e serviços	1/9	1	0,1	

Matriz de comparação relativa à categoria: Manutenção (E2)

Critério X Critério	Mantenabilidade	Disponibilidade	Taxa de Ocorrência de Falhas	Prioridade	RC
Mantenabilidade	1	1/3	1	0,182	0,046
Disponibilidade	3	1	6	0,672	
Taxa de Ocorrência de Falhas	1	1/6	1	0,145	

Matriz de comparação relativa ao critério: Ausência de manutenção preditiva (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/3	4	2	5	0,253	0,078
Manutenção Preventiva	3	1	5	5	3	0,454	
Manutenção Corretiva	1/4	1/5	1	1/2	2	0,085	
Manutenção autônoma	1/2	1/5	2	1	3	0,137	
RCM	1/5	1/3	1/2	1/3	1	0,070	

Matriz de comparação relativa ao critério: Erro Humano (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	4	1/6	5	0,189	0,083
Manutenção Preventiva	1	1	5	1/4	2	0,162	
Manutenção Corretiva	1/4	1/5	1	1/9	1	0,049	
Manutenção autônoma	6	4	9	1	4	0,525	
RCM	1/5	1/2	1	1/4	1	0,073	

Matriz de comparação relativa ao critério: Processo de Lubrificação (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/3	7	1/2	1/2	0,138	0,038
Manutenção Preventiva	3	1	9	2	3	0,406	
Manutenção Corretiva	1/7	1/9	1	1/7	1/7	0,030	
Manutenção autônoma	2	1/2	7	1	2	0,246	
RCM	2	1/3	7	1/2	1	0,177	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTBF (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	5	8	1/2	2	0,308	0,093
Manutenção Preventiva	1/5	1	7	1/4	1/3	0,107	
Manutenção Corretiva	1/8	1/7	1	1/7	1/5	0,034	
Manutenção autônoma	2	4	7	1	1	0,328	
RCM	1/2	3	5	1	1	0,220	

Matriz de comparação relativa ao critério: Perda de produtividade (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	4	6	1/3	1/3	0,179	0,065
Manutenção Preventiva	1/4	1	5	1/4	1/4	0,094	
Manutenção Corretiva	1/6	1/5	1	1/8	1/8	0,033	
Manutenção autônoma	3	4	8	1	1	0,346	
RCM	3	4	8	1	1	0,346	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTTR (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	8	1	1/2	0,195	0,028
Manutenção Preventiva	1	1	9	1	1/2	0,201	
Manutenção Corretiva	1/8	1/9	1	1/7	1/9	0,028	
Manutenção autônoma	1	1	7	1	1/4	0,168	
RCM	2	2	9	4	1	0,405	

Matriz de comparação relativa ao critério: Peças e serviços (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	3	6	2	1/3	0,220	0,0201
Manutenção Preventiva	1/3	1	3	1	1/6	0,094	
Manutenção Corretiva	1/6	1/3	1	1/3	1/9	0,040	
Manutenção autônoma	1/2	1	3	1	1/7	0,098	
RCM	3	6	9	7	1	0,545	

Matriz de comparação relativa ao critério: Manutenibilidade (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	2	9	2	1/2	0,252	0,050
Manutenção Preventiva	1/2	1	8	1	1/4	0,151	
Manutenção Corretiva	1/9	1/8	1	1/3	1/7	0,036	
Manutenção autônoma	1/2	1	3	1	1/5	0,110	
RCM	2	4	7	5	1	0,448	

Matriz de comparação relativa ao critério: Disponibilidade (E1)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	9	9	9	1	0,432	
Manutenção Preventiva	1/9	1	6	1	1/6	0,089	
Manutenção Corretiva	1/9	1/6	1	1/2	1/9	0,033	
Manutenção autônoma	1/9	1	2	1	1/8	0,056	
RCM	1	6	9	8	1	0,387	0,075

Matriz de comparação relativa ao critério: Taxa de intensidade de ocorrência de falhas (E2)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	5	8	3	1/2	0,283	
Manutenção Preventiva	1/5	1	4	1/2	1/6	0,079	
Manutenção Corretiva	1/8	1/4	1	1/5	1/9	0,032	
Manutenção autônoma	1/3	2	5	1	1/8	0,112	
RCM	2	6	9	8	1	0,491	0,059

APÊNDICE D - Matrizes de comparação (Especialista 3)

Matriz de comparação relativa ao objetivo (E3)

Categoria x Categoria	Inocuidade do produto	Produtividade	Custo	Manutenção	Prioridade	RC
Inocuidade do produto	1	5	4	3	0,542	0,088
Produtividade	1/5	1	1/2	2	0,134	
Custo	1/4	2	1	3	0,220	
Manutenção	1/3	1/2	1/3	1	0,103	

Matriz de comparação relativa à categoria: Risco de perda de inocuidade do produto (E3)

Critério X Critério	Ausência de manutenção preditiva	Erro humano	Processo de lubrificação	Prioridade	RC
Ausência de manutenção preditiva	1	1/5	1/3	0,114	0,025
Erro humano	5	1	1	0,479	
Processo de lubrificação	3	1	1	0,405	

Matriz de comparação relativa à categoria: Produtividade (E3)

Critério X Critério	MTBF	Perda de Produtividade	Prioridade	RC
MTBF	1	1/3	0,25	0
Perda de Produtividade	3	1	0,75	

Matriz de comparação relativa à categoria: Custo (E3)

Critério X Critério	MTTR	Troca de peças e serviços	Prioridade	RC
MTTR	1	7	0,875	0
Troca de peças e serviços	1/7	1	0,125	

Matriz de comparação relativa à categoria: Manutenção (E3)

Critério X Critério	Mantenabilidade	Disponibilidade	Taxa de Ocorrência de Falhas	Prioridade	RC
Mantenabilidade	1	1/2	2	0,276	0,004
Disponibilidade	2	1	5	0,594	
Taxa de Ocorrência de Falhas	1/2	1/5	1	0,128	

Matriz de comparação relativa ao critério: Ausência de manutenção preditiva (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	7	9	9	1	0,427	0,075
Manutenção Preventiva	1/7	1	7	7	1/2	0,171	
Manutenção Corretiva	1/9	1/7	1	1	1/9	0,035	
Manutenção autônoma	1/9	1/7	1	1	1/9	0,035	
RCM	1	2	9	9	1	0,330	

Matriz de comparação relativa ao critério: Erro Humano (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	7	1/7	1	0,136	0,066
Manutenção Preventiva	1	1	6	1/5	2	0,160	
Manutenção Corretiva	1/7	1/6	1	1/9	1/5	0,032	
Manutenção autônoma	7	5	9	1	4	0,547	
RCM	1	1/2	5	1/4	1	0,122	

Matriz de comparação relativa ao critério: Processo de Lubrificação (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/5	5	1/3	1/3	0,099	0,08
Manutenção Preventiva	5	1	9	3	1	0,392	
Manutenção Corretiva	1/5	1/9	1	1/5	1/5	0,036	
Manutenção autônoma	3	1/3	5	1	2	0,242	
RCM	3	1	5	1/2	1	0,22	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTBF (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1	9	1	1/2	0,211	0,081
Manutenção Preventiva	1	1	9	3	2	0,336	
Manutenção Corretiva	1/9	1/9	1	1/9	1/7	0,026	
Manutenção autônoma	1	1/3	9	1	2	0,219	
RCM	2	1/2	7	1/2	1	0,205	

Matriz de comparação relativa ao critério: Perda de produtividade (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/2	7	1	1/3	0,171	0,060
Manutenção Preventiva	2	1	9	1	1/2	0,246	
Manutenção Corretiva	1/7	1/9	1	1/5	1/5	0,038	
Manutenção autônoma	1	1	5	1	1	0,221	
RCM	3	2	5	1	1	0,321	

Matriz de comparação relativa ao critério: MTTR (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	1/2	7	1	1/2	0,191	0,084
Manutenção Preventiva	2	1	7	1/3	1/2	0,201	
Manutenção Corretiva	1/7	1/7	1	1/5	1/5	0,040	
Manutenção autônoma	1	3	5	1	1	0,281	
RCM	2	2	5	1	1	0,284	

Matriz de comparação relativa ao critério: Peças e serviços (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	3	9	2	1/2	0,285	0,087
Manutenção Preventiva	1/3	1	7	2	1/4	0,169	
Manutenção Corretiva	1/9	1/7	1	1/4	1/5	0,039	
Manutenção autônoma	1/2	1/2	4	1	1/2	0,136	
RCM	2	4	5	2	1	0,369	

Matriz de comparação relativa ao critério: Manutenibilidade (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	2	5	3	2	0,368	0,067
Manutenção Preventiva	1/2	1	3	2	2	0,232	
Manutenção Corretiva	1/5	1/3	1	1/5	1/5	0,053	
Manutenção autônoma	1/3	1/2	5	1	2	0,187	
RCM	1/2	1/2	5	1/2	1	0,157	

Matriz de comparação relativa ao critério: Disponibilidade (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	3	7	2	1	0,334	
Manutenção Preventiva	1/3	1	5	2	1/2	0,178	
Manutenção Corretiva	1/7	1/5	1	1/5	1/4	0,045	0,052
Manutenção autônoma	1/2	1/2	5	1	1/3	0,139	
RCM	1	2	4	3	1	0,301	

Matriz de comparação relativa ao critério: Taxa de intensidade de ocorrência de falhas (E3)

Alternativa X Alternativa	Man. Preditiva	Man. Preventiva	Man. Corretiva	Man. autônoma	RCM	Prioridade	RC
Manutenção Preditiva	1	3	7	2	1	0,327	
Manutenção Preventiva	1/3	1	7	3	1/2	0,213	
Manutenção Corretiva	1/7	1/7	1	1/5	1/5	0,039	0,067
Manutenção autônoma	1/2	1/3	5	1	1/2	0,139	
RCM	1	2	5	2	1	0,280	