



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

JORGE VLEBERTON BESSA DE ANDRADE

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: APLICAÇÃO DO MÉTODO
ELECTRE I PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS AO PROCESSO
PRODUTIVO INDUSTRIAL**

ACARAPE - CE

2017

JORGE VLEBERTON BESSA DE ANDRADE

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: APLICAÇÃO DO MÉTODO
ELECTRE I PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS AO PROCESSO
PRODUTIVO INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

**Orientador: Prof. Dr. João Paulo do Vale
Madeiro**

ACARAPE - CE

2017

JORGE VLEBERTON BESSA DE ANDRADE

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: APLICAÇÃO DO MÉTODO
ELECTRE I PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS AO PROCESSO
PRODUTIVO INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Paulo do Vale Madeiro (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. MSc. Francisco Olimpio Moura Carneiro
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof.^a Dra. Maria Cristiane Martins de Souza
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

A minha mãe Vera e a minha irmã Jorgeana.

Aos meus avós paternos Maria e Gerardo (*in
Memorian*).

AGRADECIMENTOS

A Deus que esteve sempre presente e que nos momentos de fraqueza segurou a minha mão e me deu força, paciência e sabedoria para poder seguir com os meus objetivos.

Minha mãe Veridiana Bessa de Queiroz, minha irmã Jorgeana Bessa de Andrade, minha avó Maria de Lurdes Maia de Andrade, que apesar da distância sempre estiveram presentes me apoiando com palavras sábias e confortantes as quais foram fundamentais não só na conclusão deste trabalho, mas também nos passos mais importantes da minha vida.

A todos os meus amigos e conterrâneos por contribuírem, cada um à sua maneira, com a realização deste trabalho, em especial Bruno Noronha e Cristiane Freire.

Aos docentes do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável. Aqui, um agradecimento especial à Prof^ª. Dra. Artemis Pessoa Guimarães, profissional admirável.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Paulo do Vale Madeiro, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado.

Meus agradecimentos à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, por oportunizar não somente a mim, mas à comunidade um ensino de qualidade e excelência. Tenho orgulho pela minha passagem por esta instituição, onde pude crescer como pessoa e como profissional.

Obrigado à empresa estudada pela oportunidade do estágio e por permitir a realização desta pesquisa, disponibilizando os recursos necessários para a conclusão de mais esta etapa. Obrigado, especialmente ao Daniel, Eduardo, Rildemberg, De Assis, Giliarde, André, Rogério e Sanderson, colegas que com seus conhecimentos e experiências propiciaram meu crescimento profissional e engrandeceram o trabalho.

A todos vocês, os meus sinceros agradecimentos.

"Se você não gosta do seu destino, não o aceite.
Em vez disso, tenha a coragem de mudar do
jeito que você quer que seja". (Naruto
Uzumaki)

RESUMO

As atividades de manutenção possuem um papel fundamental nas situações inerentes aos processos produtivos industriais, pois visam à disponibilidade dos equipamentos, sua segurança, qualidade, confiabilidade, reduzindo a probabilidade de ocorrência de falhas e indisponibilidade de equipamentos que podem ocasionar consequências multidimensionais. A seleção dos equipamentos críticos ao processo produtivo é um desafio dos gestores, uma vez que devem ser tratados de forma diferenciada, evitando danos humanos, financeiros e ambientais à empresa, aos colaboradores e à sociedade. Esse trabalho tem como objetivo aplicar um método de análise de decisão multicritério (MCDA) em atividades de manutenção para a seleção de equipamentos críticos ao processo produtivo, utilizando o método ELECTRE I. A metodologia utilizada neste trabalho seguiu as seguintes etapas: elaboração do formulário para as entrevistas; realização das entrevistas com os autores envolvidos; coleta de dados; análise dos dados; aplicação do método ELECTRE I; análise dos resultados e análise da sensibilidade. Baseado na abordagem multicritério de decisão, foram estabelecidas sete etapas para a execução do método: identificação dos atores envolvidos; escolha das alternativas; definição dos critérios; atribuição dos pesos aos critérios; avaliação das alternativas em relação aos critérios; análise dos resultados e análise da sensibilidade. Como resultado, os equipamentos A1, A4 e A8, moega vibratória 1, separador dinâmico e moinho pré-triturador, respectivamente, foram selecionados como equipamentos críticos ao processo produtivo, auxiliando o gestor da manutenção na tomada de decisão. É possível concluir que o uso da MCDA na seleção de equipamentos críticos ao processo constitui-se uma ferramenta que auxilia na gestão da manutenção e no aumento da confiabilidade para os sistemas produtivos industriais.

Palavras-chave: Gestão da manutenção; análise de decisão multicritério (MCDA); seleção; método ELECTRE I.

ABSTRACT

Maintenance has a fundamental role in situations inherent in industrial production processes, as it aims at the availability of equipment, its safety, quality, reliability, reducing the probability of occurrence of failures and unavailability of equipment that can cause multidimensional consequences. The selection of equipments critical to the production process is a challenge for managers, since they must be treated in a differentiated way avoiding human, financial and environmental damage to the company, employees and society. This work aims to apply a multicriteria decision analysis method (MCDA) in maintenance activities for the selection of equipment critical to the production process, using the ELECTRE I method. The methodology proposed in this work applied the following steps: elaboration of form for the interviews; conducting the interviews with the authors involved; data collection; data analysis; application of the ELECTRE I method; analysis of results and sensitivity analysis. Based on the MCDA approach, seven steps were established for the execution of the method: identification of the actors; choice of alternatives; definition of criteria; assigning the weights to the criteria; evaluation of the alternatives in relation to the criteria; analysis of results and sensitivity analysis. As a result, the equipments A1, A4 and A8, vibratory hopper 1, dynamic separator and pre-crusher mill, respectively, were selected as the equipment critical to the production process, assisting the maintenance manager in decision making. It was concluded that the use of MCDA in the selection of equipment critical to the process consists of a tool that aids to the management of maintenance and increased reliability for industrial production systems.

Keywords: Maintenance management; multiple criteria decision analysis (MCDA); selection; ELECTRE I method.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de concordância	37
Equação 2 – Constante δ	38
Equação 3 - Índice de discordância	38
Equação 4 – Inequações para relação de sobreclassificação	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa	41
Figura 2 - Fluxograma do desenvolvimento do método.....	41
Figura 3 - Grafo das relações de superação entre as alternativas	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da Manutenção	21
Quadro 2 - Atores do Processo Decisório	29
Quadro 3 - Problemática em função do tipo de problema.....	30
Quadro 4 – Abordagem dos métodos MCDA	31
Quadro 5 - Principais Métodos MCDA.....	33
Quadro 6 – Aplicações de análise de decisão multicritério em manutenção industrial e análise de criticidade.....	35
Quadro 7 - Atores envolvidos no processo.....	42
Quadro 8 - Alternativas de decisão.....	43
Quadro 9 - Critérios definidos para o problema de decisão	44
Quadro 10 - Atribuição de pesos aos critérios.....	44
Quadro 11 – Escala de avaliação dos critérios	45

LISTA DE SIGLAS

AHP – Analytic Hierarchy Process

ELECTRE – Elimination et Choix Traduisant la Realité

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

ICW – Interval Criterion Weights

MAUT – Multiple Attribute Utility Theory

MCDA – Análise de Decisão Multicritério

MTBF – Tempo Médio entre Falhas

MTTR – Tempo Médio de Reparo

NBR – Norma Brasileira

PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

TOPSIS – Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution

TRIMAP – Tricriterion Multiobjective Linear Programming

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz performance	47
Tabela 2 - Matriz concordância	48
Tabela 3 - Matriz discordância	48
Tabela 4 - Limiares de concordância e discordância.....	48
Tabela 5 - Matriz de dominância.....	49
Tabela 6 - Tabela de dominância.....	50
Tabela 7 - Variação dos pesos utilizada na análise de sensibilidade.....	51
Tabela 8 - Variação apresentada na análise de sensibilidade	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1. Histórico da Manutenção	19
3.2. Conceitos de Manutenção	22
3.3. Tipos de Manutenção	22
3.3.1. Manutenção Corretiva	22
3.3.2. Manutenção Preventiva	23
3.3.3. Manutenção Preditiva	23
3.3.4. Manutenção Detectiva	24
3.4. Criticidade na Manutenção	24
3.4.1. Análise e Determinação da Criticidade	25
3.5. Processo Decisório	26
3.6. Análise de Decisão Multicritério	27
3.6.1. Atores	28
3.6.2. Problemáticas	29
3.6.3. Classificação	30
3.6.4. Principais Métodos MCDA e aplicações	32
3.6.4.1. Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE I)	36
4. METODOLOGIA	40
4.1. Estruturação do Problema (Estudo de Caso)	41
4.2. Identificação dos atores envolvidos	42
4.3. Escolha das alternativas	42
4.4. Definição dos Critérios	43
4.5. Atribuição dos pesos aos critérios	44
4.6. Avaliação das alternativas em relação aos critérios	44
4.7. Análise da sensibilidade	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1. Aplicação do modelo a um estudo de caso	46
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	56

6.1. Conclusões.....	56
6.2. Sugestões para trabalhos futuros	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	63

1. INTRODUÇÃO

No cenário econômico atual, o avanço tecnológico e a globalização estabeleceram novos desafios às organizações, direcionados para a automatização e otimização dos sistemas produtivos, com o intuito de alcançar uma utilização mais racional dos recursos, diminuir desperdícios, possibilitando a competitividade e lucratividade de forma sustentável. Tais desafios devem ser enfrentados pela organização como um todo, de forma ágil e inovadora, efetuando melhorias contínuas em resposta ao mercado.

Neste contexto, evidencia-se o papel das atividades de produção e da manutenção como função estratégica nas organizações, em que ambas devem se integrar de maneira eficaz ao processo produtivo. A grande interseção do setor de manutenção com o de produção influencia diretamente a qualidade e produtividade, fazendo com que a manutenção desempenhe um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios (XENOS, 2004).

Considerar a manutenção como um mal necessário é ter uma visão míope. Esta visão ultrapassada não tem espaço nas indústrias atuais. Kardec e Nascif (2009) afirmam que a manutenção é responsável por garantir a disponibilidade e confiabilidade dos ativos industriais, mantendo em um processo produtivo sua confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados. Este tema reflete e fortalece a importância da manutenção na estrutura estratégica das empresas, tornando-a um dos fatores chave para o alcance da excelência empresarial e liderança em seu segmento no mercado.

As ações de manutenção possuem um papel fundamental nas situações inerentes aos processos produtivos industriais, reduzindo a probabilidade de ocorrência de falhas e indisponibilidade de equipamentos que podem ocasionar consequências multidimensionais, tais como aumento nos custos de produção, impactos financeiros, redução na qualidade do produto, além de também elevar a probabilidade de ocorrência de acidentes (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Para que as atividades de manutenção desempenhem seu papel junto ao processo produtivo, faz-se necessário a criação de políticas de planejamento, controle e gestão, por meio da elaboração de programas de manutenção, avaliando-se a aplicação dos recursos disponíveis, sejam eles técnicos (metodologias e ferramentas), humanos (mão de obra especializada) ou financeiros, bem como o melhoramento das capacidades dos colaboradores, aumento do desempenho dos equipamentos e obtenção da tecnologia necessária para manter os bens durante sua vida útil (HELMANN, 2008, SANTOS, 2015).

Cavalcanti e Cardoso (2013) afirmam que o planejamento diz respeito à atividade de antecipação, permitindo que se possa desenvolver uma estratégia para as atividades de manutenção. Ações de planejamento, controle e gestão da manutenção em ambientes industriais estão inteiramente interligados com a criticidade de suas peças e equipamentos, uma vez que um plano ou estratégia de manutenção só é definido após a identificação de quais são os sistemas críticos e seus modos de falha, determinados com base em critérios operacionais.

Segundo a IEC 60518 (2006), a criticidade de um sistema é definida como sendo o impacto ou a importância de um modo de falha, que exige controle e redução, e objetiva quantificar a intensidade relativa do efeito de cada falha, auxiliando na tomada de decisão. O foco da análise de criticidade incide na identificação do impacto de equipamentos na indisponibilidade de sistemas industriais ou até mesmo de outros eventos externos que afetam o processo, por meio de determinado período de tempo, observando-se as interações entre processos e características operacionais de cada processo (CAROT; SANZ, 2000; THOMAIDIS; PISTIKOPOULOS, 2004).

Hijes e Cartagena (2006) destacam que qualquer ação de manutenção objetiva inicialmente garantir o funcionamento do sistema e sua disponibilidade, por meio da garantia da confiabilidade, e da observação de que quanto mais crítico um sistema, maior deve ser a preocupação com o planejamento da manutenção desse sistema.

Portanto, a utilização de uma abordagem multicritério para a seleção de equipamentos críticos no processo produtivo faz-se relevante e possibilita uma conexão quantitativa entre a manutenção e seu impacto na confiabilidade (YANG; KWAN; CHANG, 2008). A família de métodos de análise de decisão multicritério (MCDA) avaliam uma estrutura de preferências de um processo de decisão, envolvendo um juízo de valor, a fim de apoiar a escolha da alternativa, e ao fazê-lo, os múltiplos critérios serão simultaneamente analisados, auxiliando a tomada de decisão (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Diante do exposto, o presente trabalho de pesquisa apresenta a aplicação de um método da família MCDA, especificamente o método ELECTRE I (ROY, 1968), junto a uma empresa de tintas imobiliárias situada no município de Acarape/CE, como forma de otimizar a organização da manutenção. Como hipótese da presente pesquisa, o referido método proporciona eficiência no direcionamento dos recursos para os equipamentos considerados críticos, evitando e/ou reduzindo atividades desnecessárias, gerando uma maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos no processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral aplicar um método de análise de decisão multicritério em atividades de manutenção para a seleção de equipamentos críticos ao processo produtivo, utilizando a metodologia ELECTRE I, junto a uma empresa de tintas imobiliárias no município de Acarape/CE.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a sistemática de aplicação do método ELECTRE I nas situações inerentes à manutenção industrial;
- Definir a linha de produção de aplicação do método, bem como as alternativas/equipamentos e os critérios utilizados para aplicação do método e seleção dos equipamentos críticos ao processo produtivo.
- Realizar a identificação dos atores envolvidos no processo produtivo para aplicação do método;
- Implementar o método ELECTRE I em um estudo de caso junto a uma empresa de tintas imobiliárias no município de Acarape/CE.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Histórico da Manutenção

Segundo Tavares (1999), a evolução das atividades de manutenção está associada diretamente com o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade. Com a mecanização industrial, no final do século XIX, nasceu a necessidade de se realizarem atividades de manutenção para realização de reparos. Até 1914, a manutenção era executada pelos próprios operadores das máquinas, tendo um papel não muito importante na indústria (WYREBSK, 1997). Henry Ford foi o pioneiro na criação de uma equipe totalmente voltada para as atividades de manutenção, procurando atender às exigências do sistema produtivo, garantindo assim o funcionamento das máquinas e equipamentos.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a partir da década de 30, as atividades de manutenção passaram por diversas transformações, dividindo-se em quatro gerações, cada uma possuindo características e contribuições próprias para a evolução da manutenção.

Os mesmos autores afirmam que a primeira geração abrangeu o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a mecanização industrial era precária, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados. Incorporado a tudo isso, devido à conjuntura econômica do período, a produtividade não era prioritária. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra.

Já a segunda geração abrangeu desde a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 60, em que as pressões do período da guerra incidiram no aumento da demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que a mão-de-obra industrial diminuía gradativamente. Como decorrência, nesse período houve um forte avanço da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais, evidenciando a necessidade de uma maior disponibilidade e confiabilidade na busca de maior produtividade; a indústria estava bastante condicionada ao funcionamento adequado das máquinas, amadurecendo-se a ideia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas (FILHO, 2008).

A partir da década de 70, inicia-se a terceira geração, trazendo consigo os conceitos da manutenção preventiva, fundamentados na performance e no desempenho dos equipamentos. É nesta época que as empresas dão início ao desenvolvimento tecnológico de seus parques industriais, tornando-os mais automatizados e mecanizados, aumentando a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (KARDEC e NASCIF 2009).

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a quarta geração iniciou-se no século XXI, caracterizando-se pela intensificação da manutenção preditiva, redução das manutenções preventiva e corretiva, desenvolvimento da engenharia de manutenção e aplicação de técnicas de confiabilidade. A partir daí as organizações vêm passando por profundas transformações, estimuladas pelo aumento da competitividade e pelo desenvolvimento tecnológico, levando-as a uma verdadeira revolução nos seus sistemas produtivos.

O Quadro 1 resume as quatro gerações da gestão da manutenção segundo Kardec e Nascif (2009).

Quadro 1 - Evolução da manutenção.

	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviço 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização das Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida • Contração por resultados

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

3.2. Conceitos de Manutenção

Conforme a NBR 5462/1994, manutenção é a combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um equipamento ou sistema em condições de desempenhar, com eficiência, as funções para as quais foi projetado.

Já para a norma inglesa BS-3811/1993 a manutenção é definida como a combinação de quaisquer ações para reter um item ou restaurá-lo, de acordo com um padrão aceitável. Silva e Antunes (2012) afirmam que a manutenção é o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações.

3.3. Tipos de Manutenção

Como ferramenta de gestão e de planejamento, com a finalidade de garantir a organização, a manutenção pode ser classificada de acordo com o tipo de intervenção. Segundo Kardec e Nascif (2009), os tipos de manutenção se caracterizam pela forma na qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações, seja ela programada ou não programada. A seguir serão elencados os principais conceitos e tipos de manutenção, considerados por diversos autores, assim como também o procedimento de como cada uma pode ser realizada.

3.3.1. Manutenção Corretiva

É a forma mais simples e mais primitiva de manutenção. De acordo com Chambers, Johnston e Slack e (2002), “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”.

Para Xenos (2004), a manutenção corretiva é realizada sempre após a ocorrência de um defeito. Souza (2009) relaciona manutenção corretiva às operações responsáveis pela correção de uma falha identificada em um determinado equipamento. De acordo com Kardec e Nasci (2009), a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: a corretiva não planejada e a corretiva planejada.

A manutenção corretiva não planejada destina-se a reparar o material danificado em uma ocorrência aleatória ou em momento incerto, em que não se tem o menor controle da manutenção que será realizada. Simplesmente espera-se o equipamento quebrar e só então realiza-se o serviço (WAEYENBERG; PINTELON; GELDERS, 2000; CARVALHO, 2009).

A manutenção corretiva planejada corresponde à manutenção preparada, ou seja, a correção do desempenho, menor do que o esperado, ou da falha, por decisão gerencial. Dá-se pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a falha (OTANI; MACHADO, 2008; BRANCO FILHO, 2008; KARDEC; NASCI, 2009).

3.3.2. Manutenção Preventiva

Procedimento executado em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, proposto a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um equipamento ou sistema (MONCHY, 1989; CHAMBERS; JOHNSTON; SLACK, 2002; SELLITTO; FACHINI, 2014). Vergara (2013) acrescenta dizendo que a manutenção preventiva é aquela em que ocorre uma pausa para a substituição de peças ainda utilizáveis. Esse tipo de intervenção deve acontecer com dados concretos e sistematizados.

Em relação aos custos, Viana (2009) afirma que a manutenção preventiva, quando implantada por um planejamento efetivo, causa uma economia para a organização e um rápido retorno dos investimentos, pois resgata as condições do equipamento, com a finalidade de evitar falhas que poderiam causar paradas mais prolongadas

3.3.3. Manutenção Preditiva

De acordo com a NBR 5462 (1994), a manutenção preditiva “permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

Fundamenta-se na condição do equipamento ou sistema técnico. Permite o seu acompanhamento por meio de medições realizadas em pleno funcionamento, o que possibilita uma maior disponibilidade, já que a intervenção somente ocorre quando próxima de um limite previamente estabelecido pela equipe de supervisão (OTANI; MACHADO, 2008; FARIA, 2013).

3.3.4. Manutenção Detectiva

Kardec e Nasci (2009) definem manutenção detectiva como sendo a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, visando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. O termo manutenção detectiva vem da palavra “detectar” e começou a ser referenciado a partir da década de 90, sendo ainda pouco aplicada no Brasil (BRISTOT, 2012).

3.4. Criticidade na Manutenção

Hijes e Cartagena (2006) destacam a importância da manutenção ao devolver a confiabilidade perdida do sistema, sendo que quanto mais crítico o equipamento, maior deve ser o foco da manutenção sobre esse equipamento. A análise de criticidade é o ponto de partida na priorização do nível de manutenção necessário em cada sistema e para distribuição dos recursos da manutenção.

Moss e Woodhouse (1999) ressaltam que a "criticidade" está sujeita a diferentes interpretações, dependendo do objetivo e ponto de vista na qual ela é analisada, definindo criticidade como o atributo que expressa a importância da função de um equipamento ou sistema dentro de um processo produtivo, sob os aspectos de segurança, qualidade, meio ambiente ou outros critérios específicos.

Aven (2009) afirma que a criticidade diz respeito a quanto um equipamento pode ser fundamental dentro da situação operacional de um sistema, onde sua falha ou baixo desempenho podem ocasionar graves implicações, como acidentes com pessoas, danos ambientais, impactos econômicos e operacionais. A criticidade é vista como diretamente proporcional ao impacto desse equipamento no processo.

Para Nunes (2001), Siqueira (2005) e Simões Filho (2006), a criticidade está diretamente relacionada às consequências que as falhas geram para o processo. Quanto maior for o impacto de uma determinada falha ocorrida em um equipamento, maior será a criticidade desse equipamento. As falhas em equipamentos podem representar grandes perdas econômicas e humanas, apresentando, em muitos casos, comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas (SMITH; HAWKINS, 2004).

3.4.1 Análise e Determinação da Criticidade

A determinação da criticidade de equipamentos industriais é um procedimento cujos resultados são utilizados para auxiliar na definição das políticas de manutenção mais adequadas a cada equipamento ou sistema, levando em consideração a importância relativa de cada equipamento.

Furmann (2002) afirma que para priorizar os equipamentos de uma planta industrial, deve-se:

Atribuir qual é a importância de cada equipamento para o processo produtivo. Essa importância pode ser avaliada com base numa análise de risco de falhas, considerando principalmente a gravidade do impacto decorrente dessas falhas para a função que o equipamento exerce e as respectivas indisponibilidades operacionais imprevistas que comprometem a competitividade empresarial.

Busca-se a realização de atividades de manutenção que sejam importantes e necessárias nos processos de seleção, determinação ou priorização de equipamentos, impedindo, assim, desperdício de tempos e recursos, tanto materiais como humanos, em atividades ineficientes (CAPUANO E KORITKO, 1996). Para Castella (2001), é necessário atribuir a cada equipamento o respectivo índice de criticidade em relação ao processo produtivo para que se possa distinguir os de maior prioridade, evitando perder tempo e dinheiro na análise de itens que não trarão um retorno significativo.

Os equipamentos críticos são definidos com base em critérios de criticidade, sendo determinada a estratégia de manutenção adequada a cada equipamento. Para alguns equipamentos mais críticos, são desenvolvidos planos de manutenção planejada, procedimentos operacionais e manuais de treinamento. Siqueira (2005) observa que em grande parte das plantas industriais não há uma seleção adequada dos parâmetros que afetam a criticidade dos equipamentos, sendo esta criticidade baseada apenas na experiência e conhecimento tácito do técnico ou mantenedor responsável pela análise, acrescida de informações técnicas.

Vale destacar que não existe uma regra fixa para seleção dos critérios que devem ser utilizados para auxiliar o gestor na determinação da criticidade dos equipamentos. Os critérios para decisão são determinados de acordo com as preferências dos tomadores de decisão, as características do processo produtivo, legislações específicas, entre outros.

3.5. Processo Decisório

A palavra decisão é composta por “*de*” (que significa parar, extrair, interromper em latim) anteposta à palavra “*caedere*” (que significa cindir, cortar). Desta forma, ao pé da letra, a palavra *decisão*, significa “parar de cortar” ou “deixar fluir” (GOMES; GOMES, 2012). Comumente falando, um processo de tomada de decisão pode idealizar-se como a escolha por parte de um centro decisório (um indivíduo ou grupo de indivíduos) da melhor alternativa entre as possíveis.

Para Maximiano (2011) decisões são tomadas para solucionar problemas ou aproveitar oportunidades.

[...] O processo de tomar decisão começa com uma situação de frustração, interesse, desafio, curiosidade ou irritação. Há um objetivo a ser atingido e apresenta-se um obstáculo, ou acontece uma condição que se deve corrigir, ou está ocorrendo um fato que exige algum tipo de ação, ou apresenta-se uma oportunidade que pode ser aproveitada.

Roy (1996) define apoio à decisão como uma atividade que contribui para os atores do processo de tomada de decisão encontrarem a melhor resposta. Para Zeleny (1986), a tomada de decisão é um esforço com objetivo de auxiliar o processo de decisão para a melhor solução, a qual é dificultada na presença de critérios conflitantes.

Chiavenato (2011.) afirma que decisão é um processo de análise e escolha entre alternativas disponíveis, envolvendo seis elementos:

- O tomador de decisão: é a pessoa que faz uma escolha ou opção entre várias alternativas futuras de ação;
- Os objetivos: são o que o tomador de decisão pretende alcançar com suas ações;
- As preferências: são os critérios que o tomador de decisão usa para fazer sua escolha;
- A estratégia: é o curso de ação que o tomador de decisão escolhe para atingir seus objetivos, dependendo dos recursos dos quais pode dispor;
- A situação: são os aspectos do ambiente que envolve o tomador de decisão, alguns deles fora do seu controle, conhecimento ou compreensão e que afetam sua escolha;
- O resultado: é a consequência ou resultado de uma estratégia.

Dentro do panorama industrial, Chareonsuk et al. (1997) evidenciam que as atividades de manutenção se sobressaem sob a influência dos diferentes critérios que dependem

de características operacionais; filosofia de produção, demanda, ramo de atividade, entre outros. Gomes e Gomes (2012) definem que um problema complexo possui as seguintes características:

- Mínimo de dois critérios conflitantes entre si;
- Critérios e alternativas não definidas corretamente, nem consequências da priorização das alternativas em relação a algum critério;
- Critérios e alternativas conectados entre si, em que um critério parece inferir, em certo grau, em outro, assim como a escolha de uma alternativa depende da escolha ou exclusão de outra;
- Solução depende de vários decisores, cada um com um ponto de vista distinto acerca do cenário e dos aspectos que envolvem o problema;
- Não há uma definição clara das restrições;
- Critérios quantitativos e outros qualitativos ou quantificáveis por julgamento de valor;
- Escalas dos critérios variando em função dos dados disponíveis e da natureza de cada critério.

Segundo Souza (2002), uma boa decisão é uma consequência lógica daquilo que se quer, daquilo que se sabe e daquilo que se pode fazer. Perante os problemas complexos, o tomador de decisão está envolvido no processo decisório com o intuito de elencar uma ação que levará as consequências mais favoráveis para determinada questão em análise, ciente de que o processo de tomada de decisão não é único, possuindo cada caso suas especificidades.

3.6. Análise de Decisão Multicritério

As decisões podem ser classificadas de diversas formas. Dentre elas, destaca-se a classificação quanto ao número de critérios analisados no problema. Decisões do tipo monocritério são aquelas em que as alternativas podem ser avaliadas segundo apenas um critério. Os problemas reais raramente se enquadram neste tipo de decisão. Geralmente, as decisões nas quais as pessoas se deparam no cotidiano são de caráter multicritério, em que se torna necessária a avaliação de cada provável curso de ação a ser tomado, considerando-se aspectos, muitas vezes, conflitantes entre si (LEITE; FREITAS, 2012).

Assim, a partir da contextualização dessa classe de problemas, surgiram metodologias de MCDA, que se fundamentam no estudo e análise de problemas de decisão com a existência de critérios conflitantes para os atores do processo decisório. Os primeiros métodos

de MCDA surgiram nas décadas de 70 e 80 com o objetivo de auxiliar o tomador de decisão a enfrentar certas situações, buscando resolver um problema com vários objetivos a serem alcançados simultaneamente (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

A abordagem de MCDA se caracteriza como um conjunto de métodos, para os quais as alternativas são analisadas por múltiplos critérios, na maioria dos casos conflitantes, auxiliando e conduzindo os tomadores de decisão na avaliação e escolha das alternativas-solução em diferentes espaços (GOMES; GOMES, 2012; ALMEIDA, 2013).

Almeida *et al.* (2015) afirmam que um problema de decisão multicritério consiste numa situação em que há pelo menos duas alternativas de ação, e a escolha é acarretada pelo desejo de atendimento a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. A metodologia de MCDA ajusta as decisões referentes à seleção da melhor alternativa dentro de um conjunto com várias alternativas potenciais para a solução do problema, sujeitas a vários atributos ou “critérios” tangíveis ou intangíveis, aptas a fornecer um tratamento específico às particularidades do problema (CHO, 2003).

A aplicação de MCDA nos processos decisórios não visa apresentar ao tomador de decisão uma solução “pronta” para o problema, mas sim auxiliar o processo decisório, por meio de recomendações de ações ou cursos de ações a quem vai tomar a decisão. Exige o conhecimento de conceitos básicos como o de critérios, alternativas e pesos, de forma que as alternativas sejam avaliadas segundo os múltiplos critérios definidos. Cada critério também possui um peso atribuído pelo tomador de decisão, ou seja, deve levar em consideração o resultado esperado e os tipos de dados disponíveis para o tratamento do problema (GOMES; GOMES, 2012).

3.6.1. Atores

Segundo Roy (1996), um ator do processo de decisão é a pessoa ou um grupo de pessoas que tem influência na decisão direta ou indiretamente. O processo decisório em qualquer área acontece com o auxílio de pelo menos três atores ou grupos de atores distintos: o tomador de decisão, o facilitador e o analista (GOMES; GOMES, 2012).

No Quadro 2, serão mostrados os atores juntamente com os conceitos e suas características.

Quadro 2 - Atores do processo decisório.

ATORES	CONCEITO	CARACTERÍSTICAS
--------	----------	-----------------

Tomador de Decisão	Aquele (ou aqueles) destinatário(s) do processo decisório, com o poder e a responsabilidade de ratificar uma decisão e assumir suas consequências.	Influencia(m) no processo de decisão de acordo com o juízo de valor(es) que representa(m) e/ou relações que se estabeleceram.
Facilitador	É (são) um (os) líder(es) experiente(s) que deve(m) focalizar a(s) sua(s) atenção(ões) na resolução do(s) problema(s), coordenando os pontos de vista do(s) tomador(es) de decisão e mantendo-o(s) motivado(s), destacando o aprendizado no processo de decisão.	Esclarecer e modelar o processo de avaliação e/ou negociação conducente à tomada de decisão, propiciando o aprendizado.
Analista	É (são) o(s) que faz(em) a análise e auxilia(m) o(s) facilitador(es) e o(s) tomador(es) de decisão na estruturação do(s) problema(s) e identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam na evolução, solução e configuração do problema.	Formular o problema e auxiliar na sua visualização, fazendo recomendações relativas à seleção final.

Fonte: Adaptado de Gomes e Gomes (2012).

3.6.2. Problemáticas

No contexto do apoio a decisão, quando se trata da MCDA, um elemento de grande importância é a determinação da problemática de decisão ou problemática de referência (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004; GOMES; GOMES, 2012). No processo de tomada de decisão, a melhor solução para um determinado problema é identificada entre as seguintes problemáticas (ROY, 1996)

- Problemática ($P\alpha$): visa apoiar a decisão pela escolha da melhor alternativa dentro de um subconjunto com a máxima restrição possível, e seu resultado é uma escolha ou um procedimento de seleção;
- Problemática ($P\beta$): classificação das alternativas, dentro de categorias definidas a priori, mediante normas estabelecidas para o conjunto de ações,

para elucidar a decisão mediante a triagem das alternativas alocadas. Resulta de uma triagem ou procedimento de classificação;

- Problemática ($P\gamma$): ordenação, completa ou parcial, das alternativas, através do reagrupamento em classe de equivalência de todas as ações. Resulta de um arranjo ou procedimento de ordenação;
- Problemática ($P\sigma$): elucidar a decisão pela descrição de cada ação e sua respectiva consequência. Resulta de uma descrição ou um procedimento cognitivo.

No Quadro 3 é apresentado o tipo do problema de acordo com a problemática abordada.

Quadro 3 - Problemática em função do tipo de problema.

TIPO DO PROBLEMA	PROBLEMÁTICA ABORDADA
($P\alpha$) – Escolha / Seleção	Selecionar a “melhor” alternativa ou as melhores alternativas.
($P\beta$) – Classificação	Aceitar alternativas que parecem “boas” e descartar as que parecem “ruins”, ou seja, realizar uma classificação das alternativas.
($P\gamma$) – Ordenação	Gerar uma ordenação das alternativas.
($P\sigma$) – Descrição	Realizar uma descrição das alternativas.

Fonte: Adaptado de Roy (1996)

3.6.3. Classificação

Roy (1985), Vincke (1992) e Almeida (2013) classificam os métodos de MCDA de acordo com a abordagem utilizada, conforme mostrado no Quadro 4:

Quadro 4 – Abordagem dos métodos MCDA.

ABORDAGENS	DESCRIÇÃO
------------	-----------

Métodos de critério único de síntese	Permitem a definição de uma função que busca agregar valores de cada alternativa sujeita a cada critério, abrangendo os critérios em um único critério de síntese. Desta forma, estes métodos abrangem uma ideia de agregação compensatória, na qual podem compensar um menor desempenho em uma alternativa, dado um critério, através de um melhor desempenho em outro critério, fato que não ocorre nos métodos não compensatórios. Alguns métodos desta abordagem podem ser citados: Multiple Attribute Utility Function (MAUT), Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution (TOPSIS), Analytic Hierarchy Process (AHP).
Métodos Interativos	Esses métodos baseiam-se na alternância entre etapas de cálculo, fornecendo soluções de compromissos, e etapas de diálogo, as quais representam dados extras sobre a preferência dos tomadores de decisão, elucidando as alternativas e atingindo os objetivos. Muitas vezes esta abordagem agrega-se a problemas discretos e contínuos, sendo bastante utilizada na programação matemática. Alguns métodos dessa abordagem podem ser citados: Tricriterion Multiobjective Linear Programming (TRIMAP), Interval Criterion Weights (ICW), PARETO RACE.
Métodos de Sobreclassificação	Buscam construir uma relação de sobreclassificação com base em um conjunto de alternativas, geralmente discretas e comparadas em pares, as quais representam as preferências dos tomadores de decisão, para em seguida explorar essa sobreclassificação com objetivo de auxiliar na solução dos seus problemas. Assume que que todas as alternativas são comparáveis, existindo transitividade nas relações de preferência e indiferença. Os principais métodos desta abordagem são os das famílias: Elimination Et Choix Traduisant la Realité (ELECTRE) e Preference Ranking. Organization Method for Enrichment Evaluations PROMETHEE.

Fonte: Roy (1985), Vincke (1992) e Almeida (2013).

3.6.4. Principais Métodos MCDA e aplicações

Os métodos MCDA podem ser aplicados em diversas áreas (economia, engenharia, ciências da saúde, políticas e sociais) presentes em uma infinidade de atividades, sejam elas públicas ou privadas, em que o objetivo seja selecionar, ordenar, classificar ou descrever alternativas presentes em um processo decisório com múltiplos critérios (ROY, 1996; GOMES; GOMES, 2012).

A diante serão expostas aplicações com a utilização de métodos MCDA na área de manutenção industrial e análise de criticidade, com intuito de investigar pesquisas que possuem um caráter similar ao tema. Observam-se os seguintes aspectos: o problema em questão, os critérios propostos e a metodologia empregada para resolução.

Certa, Enea e Lupo (2013) utilizaram o ELECTRE III para selecionar componentes em manutenções preventivas. Como forma de resolver o problema os autores utilizaram a Otimização Multi-objetivos para encontrar as configurações ótimas (componentes a serem substituídos) baseados na indisponibilidade do sistema, selecionando a melhor configuração através do ELECTRE III, onde afirmaram ter atingido os objetivos propostos pelo estudo.

Inácio, Barbieri e Lima (2016) elaboraram uma estrutura de análise decisão multicritério para priorizar a manutenção de equipamentos eletromecânicos de uma praça de pedágio, combinando o método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a abordagem do Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Os autores afirmaram alcançar o objetivo proposto, determinando uma hierarquia de priorização da manutenção e revelaram que as falhas mais significativas foram as de Tensão Elétrica e Impacto mecânico, visto que apresentam alto grau de severidade, capaz de afetar a segurança e satisfação dos clientes.

No Quadro 5, estão elencados os principais métodos, os quais se encontram organizados por abordagem. Já no Quadro 6, apresentam-se aplicações pesquisadas na área de manutenção e análise de criticidade, bem como os métodos MCDA associados e os critérios de decisão utilizados.

Quadro 5 - Principais Métodos MCDA.

ABORDAGENS	MÉTODOS	DESCRIÇÃO
Métodos de Critério Único de Síntese	Multiple Attribute Utility Function (MAUT)	Fundamenta-se nos conceitos de modelagem de preferência tradicional, admite trade-offs entre critérios e somente duas situações: Preferência estrita (P) e Indiferença (I). É estabelecida uma função utilidade de agregação $U(g_1, \dots, g_i, \dots, g_n)$, agregando os critérios g_j ($j = 1, \dots, n$) em um critério único de síntese, explicitando as preferências do decisor. Ordena as alternativas.
	Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution (TOPSIS)	Avalia o desempenho das alternativas através da similaridade desta com a solução ideal, assim a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva sendo aquela que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício. É um método de ordenação de alternativas.
	Analytic Hierarchy Process (AHP)	Decompõe o problema em diversos em fatores, com relações entre si, por meio da construção de uma hierarquia, possibilita ao decisor definir prioridades e realizar o julgamento de preferências entre alternativas, comparando-as em pares para cada critério por meio de matrizes e baseados na escala numérica de Saaty. É um método de ordenação das alternativas.
Métodos Interativos	Tricriterion Multiobjective Linear Programming (TRIMAP)	Efetua uma pesquisa livre no sentido de uma aprendizagem progressiva e seletiva do conjunto de soluções não dominadas, combinando a redução da região admissível com a redução do diagrama paramétrico. Em cada fase de cálculo é otimizada uma soma ponderada das funções objetivo. O decisor pode especificar limitações inferiores para funções objetivo, que são traduzidas para o diagrama paramétrico, e impor restrições diretamente nos pesos. É um método de escolha e ordenação de alternativas.

Quadro 5 - Principais Métodos MCDA (continuação).

ABORDAGENS	MÉTODOS	DESCRIÇÃO
	Pareto Race	Realiza uma pesquisa direcional livre sobre a região não dominada. A informação de preferências consiste na indicação das funções objetivo a melhorar, o que provoca a alteração a direção da pesquisa. As soluções são calculadas definindo uma direção que oferece uma variação nos valores das funções objetivo que está de acordo com as preferências do decisor, a qual é depois projetada sobre a região não dominada. É um método de escolha e ordenação de alternativas, considera trade-offs.
Métodos de Sobreclassificação	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE)	Compreende dois procedimentos principais: I) construção de uma ou várias relações de sobreclassificação/superação; e, II) exploração desta(s) relação(s). A construção de uma relação ou mais relações de sobreclassificação tem como objetivo comparar cada par de ações. Não permite trade-offs entre critérios. Derivações: ELECTRE I e IS (escolha e ordenação); ELECTRE II, III e IV (ordenação); ELECTRE TRI (classificação).
	Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)	Consiste em realizar a comparação das alternativas em pares e construir uma relação de sobreclassificação de valores, destacando-se por buscar envolver conceitos e parâmetros que têm interpretação física ou econômica. Não permite trade-offs entre critérios. Derivações: PROMETHEE II (ordenação); PROMETHEE III e IV (ordenação); PROMETHEE V (ordenação); PROMETHEE VI (ordenação, PROMSORT (classificação).

Fonte: ANTUNES e ALVES (2012); ALMEIDA (2015).

Quadro 6 - Aplicações de análise de decisão multicritério em manutenção industrial e análise de criticidade.

AUTORES	PROBLEMA	MÉTODO MCDA	CRITÉRIOS
Alárcon, Grau e Torres (2007)	Aperfeiçoar ações de reparo na manutenção de redes de telecomunicações	ELECTRE I	Custo de materiais; horas-técnicas; multas; impacto sobre o cliente e impacto na imagem da operadora.
Helmann e Marçal (2007)	Selecionar os equipamentos críticos para o processo.	ELECTRE I	Perdas de produção; riscos à segurança e riscos ao meio-ambiente.
Certa, Enea e Lupo (2013)	Selecionar componentes a serem substituídos em parada programada de manutenção.	ELECTRE III	Confiabilidade; custo e tempo de operação.
Baran (2015)	Analisar a criticidade na gestão da manutenção de processos industriais.	ELECTRE TRI e PROMETHEE II (Significado da sigla)	Risco à segurança; indisponibilidade da produção; impacto na qualidade do produto; riscos ambientais; tempo médio de reparo (MTTR); tempo médio entre falhas (MTBF) e custo da manutenção.
Inácio, Barbieri e Lima (2016)	Elaborar uma priorização da manutenção de equipamentos eletromecânicos de uma praça de pedágio	AHP	Ocorrência; severidade e detecção.

Fonte: Autor (2017).

3.6.4.1. Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE I)

A família ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité - Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade), foi iniciada por Roy, que propôs o ELECTRE I em 1968 e foi concebida para resolver questões da problemática $P\alpha$. Os métodos da família ELECTRE admitem a construção de uma modelagem mais flexível para os problemas de decisão, pois não impõem ao tomador de decisão uma estrutura hierárquica dos critérios existentes (ROY, 1968).

Um das características fundamentais apresentadas por este método é a introdução de um novo conceito do Modelo de Preferência, que quando considera um problema de escolha em que uma alternativa a é melhor do que as alternativas b e c , torna irrelevante analisar as preferências entre b e c . Estas duas ações podem perfeitamente permanecer incomparáveis, sem degenerar o procedimento de suporte à decisão. Desta forma, a ideia básica, nesta família de métodos, incide no destaque da análise das relações de dominância (GOMES; GOMES, 2012).

Os métodos ELECTRE, de origem francesa, objetivam obter um subconjunto de alternativas, as quais sobreclassificam as alternativas que não fazem parte desse subconjunto, ou seja, procura-se minimizar o volume do conjunto de alternativas, explorando o conceito de dominância. Para isso, são utilizados dois índices: o índice de concordância, que mede a vantagem relativa de cada alternativa sobre as outras, e o índice de discordância, que mede a relativa desvantagem (ROY, 1968).

Segundo Almeida (2013), os métodos da família ELECTRE são aplicados em duas. A primeira fase consiste na construção da relação de sobreclassificação, em que se estabelece uma comparação par a par entre as alternativas. Em seguida, na segunda fase, explora-se a relação de sobreclassificação, aplicando-se um procedimento para resolver o problema em função da problemática específica a ser abordada.

Os métodos da família ELECTRE consideram os pesos como uma medida da importância que cada critério tem para o tomador de decisão. Então, a informação dos pesos é utilizada com a intenção de construir índices (ou coeficientes) de concordância e de discordância. Ou seja, para a construção da relação de sobreclassificação são levados em conta os conceitos de concordância e discordância.

Gomes e Gomes (2012) fundamentam os métodos ELECTRE da seguinte forma:

- Seja A o conjunto de possíveis decisões (alternativas) e $g_i(a)$ a avaliação de qualquer umas dessas decisões, segundo um critério i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$);
- Aplicando a relação de sobreclassificação aos elementos do conjunto A , pode-se definir que uma alternativa a supera uma alternativa b (aSb), se a for, pelo menos, tão boa quanto b ;
- Essa relação de superação, que não é necessariamente transitiva, aparece como uma possível generalização do conceito de dominância;
- Assim, o que se procura identificar, no contexto de um problema de decisão, é se existe ou não uma relação de dominância entre duas alternativas, ou seja, se o risco de considerar verdadeira a afirmação “a alternativa a é pelo menos tão boa quanto a alternativa b ” é aceitável.

Desta forma, as considerações que conduzem à aceitação da relação aSb podem ser expressas por meio de dois conceitos (HEIN et al., 2010):

- Concordância – testa a afirmação de que um subconjunto significativo de critérios concorda que a alternativa a sobreclassifica (é pelo menos tão boa quanto) b .
- Discordância – testa a afirmação de que o restante dos critérios discorda fortemente de que a alternativa a sobreclassifica b .

Conforme Almeida (2013), os índices de concordância e discordância estabelecem limites para a validação ou não da hipótese aSb :

- $C(a,b)$: Índice de concordância com a afirmativa aSb ;
- $D(a,b)$: Índice de discordância com a afirmativa aSb .

A equação para o índice de concordância é dada por:

$$C(a, b) = \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} W_j \quad (1)$$

Em que,

j = Critério j ;

a e b = Alternativas;

$g_j(a)$ = Desempenho da alternativa a em relação ao critério j ;

W_j = Peso do critério j .

O índice terá como resultado a soma dos pesos de todos os critérios j em que a alternativa ‘ a ’ prevaleça sobre ‘ b ’, ou seja, a alternativa aSb ocorre se ‘ a ’ tiver a maior fatia dos pesos dos critérios ao seu favor (ALMEIDA, 2013).

Para se obter o índice de discordância ($D(a,b)$), é necessário primeiramente determinar o valor da constante (δ), que é dado pela Equação

$$\delta = \max \{ \text{maior valor da avaliação} - \text{menor valor da avaliação no critério "j"} \} \quad (2)$$

Em seguida, é calculada a máxima diferença elemento a elemento das avaliações entre pares de alternativas, dividindo-se em seguida este pelo valor de delta (δ), de acordo com a Equação 3:

$$D(a,b) = \frac{\max \{g_j(b) - g_j(a)\}}{\delta} \quad (3)$$

Ressalta-se que se a máxima diferença for um valor negativo, então a discordância terá um valor igual a zero.

Segundo Hein et al. (2010), devem ser definidos um limiar de concordância “ p ” e um limiar de discordância “ q ”, em que o limiar de concordância preferencialmente é dado como o valor maior ou igual à média das concordâncias, e o limiar de discordância como o valor maior ou igual à média das discordâncias, recomendando-se que estes limiares estejam conforme os seguintes intervalos: $0.5 \leq p \leq 1$ e $0 \leq q \leq 0.5$.

Deste modo, faz-se necessário realizar testes de dominância, em que os índices de concordância e discordância calculados são comparados com limiares de concordância e discordância para que sejam estabelecidas as relações de sobreclassificação, conforme o conjunto de inequações abaixo:

$$\begin{cases} C(a,b) \geq p \\ D(a,b) \leq q \end{cases} \quad (4)$$

Com as condições estabelecidas na expressão (4), é possível construir a matriz de dominância, sendo que se a condição é satisfeita, o índice de dominância correspondente recebe o valor 1, caso contrário, recebe o valor 0.

A partir do Teste de Dominância, constrói-se o *Kernel* do problema (partição), em que são analisadas as relações de sobreclassificação através de grafos (OLIVEIRA; ANTUNES; GOMES, 2013). A partição do conjunto de alternativas divide-se em dois subconjuntos:

- K : Núcleo, ou *Kernel* ou Não-dominadas: Conjunto de alternativas entre as quais não há relação de sobreclassificação. Estas alternativas são incomparáveis ou não-dominadas entre si;
- D : Conjunto, cujas alternativas são sobreclassificadas por pelo menos uma alternativa em K .

Duas afirmações devem ser levadas em consideração para a formação da partição:

- Todas as alternativas em K são incomparáveis entre si.
- Toda alternativa em D é sobreposta por pelo menos uma alternativa em K .

Segundo Almeida (2013), a análise do *Kernel* é realizada por meio de grafos, identificada por três situações: a seta representa a sobreclassificação de uma alternativa por outra; a ligação sem direção definida indica indiferença entre alternativas; e a ausência de ligação representa incomparabilidade entre as alternativas. Observa-se também que o subconjunto D é dominado pelo subconjunto K , mas nem todas as alternativas em D são dominadas por todas as alternativas em K .

Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004), a partir de um grafo é possível analisar a relação de superação, em que os vértices são as alternativas e os arcos a relação de superação, ou seja, (x_a, x_b) será um arco da rede somente se $x_a S x_b$. Procura-se indicar um subconjunto N , tal que toda alternativa que não pertence ao subconjunto N é superada ao menos por uma alternativa de N , e todas as alternativas de N não são comparáveis entre si. Um conjunto com estas propriedades é denominado núcleo de um grafo.

Outra forma de analisar as relações de sobreclassificação se dá por meio de uma tabela de dominância, em que se definem duas listas com dominâncias. Primeiro, uma com as comparações por linha das alternativas, de duas em duas, e outra com as comparações por coluna, cumprindo os testes de dominância. Já a lista de preferência das alternativas, no caso as alternativas críticas ao processo produtivo, determina-se ordenando-as segundo o maior número de dominâncias por linha e o menor número de dominâncias por coluna. Assim, em primeiro lugar fica aquela que domina as demais e não é dominada por nenhuma.

4. METODOLOGIA

Para Gil (2002), a pesquisa possui um caráter pragmático, marcada como “um processo formal e sistematizado de desenvolvimento do método científico”. O objetivo fundamental de toda pesquisa é solucionar problemas empregando procedimentos científicos. Segundo Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa sempre parte de um problema, para responder às necessidades de conhecimento de certo problema ou fenômeno. Diversas questões são levantadas e a pesquisa pode invalidá-las ou confirmá-las.

Diferentes objetivos podem ser abordados pela gestão da manutenção. Contudo, essa pesquisa visa estruturar, ensaiar, propor uma sistemática para a seleção de equipamentos críticos ao processo produtivo, que considere múltiplos critérios e que venha a contribuir para a decisão dos gestores na aplicação dos recursos de manutenção disponíveis. O ensaio da sistemática proposta é realizado com base em um estudo de caso em um processo de britagem e calcinação de minério em uma empresa de tintas imobiliárias, o que não impede sua aplicação em outras organizações, outros segmentos, que necessitem abordar metodicamente a análise de criticidade de equipamentos.

Diversos autores expõem formas diferenciadas de classificações sobre os tipos de pesquisa. Isso se justifica em virtude de que a pesquisa consiste num conceito complexo que não pode ser descrito de maneira única. Muitas dessas classificações fazem uso de variáveis de classificação que não podem ser utilizadas simultaneamente. Dessa forma, diferentes classificações podem ser obtidas usando-se diferentes variáveis.

Esta pesquisa possuiu uma abordagem quali-quantitativa, pois utiliza-se de um método MCDA implementado, com dados quantitativos e análise matemática, com o foco em entender o fenômeno da seleção de equipamentos críticos, observando o contexto envolvido e as interações existentes nesse meio.

Quanto aos procedimentos técnicos, o trabalho utilizou-se de uma pesquisa bibliográfica elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos, monografias, dissertações de mestrado, teses de doutorado e materiais disponibilizados na internet. Foi utilizado o software Microsoft Excel para a tabulação e operação dos dados colhidos.

Além dos procedimentos acima, fez-se uso do estudo de caso, caracterizado pelo estudo profundo, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento. O estudo de caso será realizado em um ambiente industrial de uma empresa que atua no segmento de tintas imobiliárias. Através do estudo de caso será possível o ensaio da

sistemática proposta, contribuindo desta forma para o atingimento do objetivo principal do trabalho. Na Figura 1, são apresentadas as etapas de como foi feita a pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa.

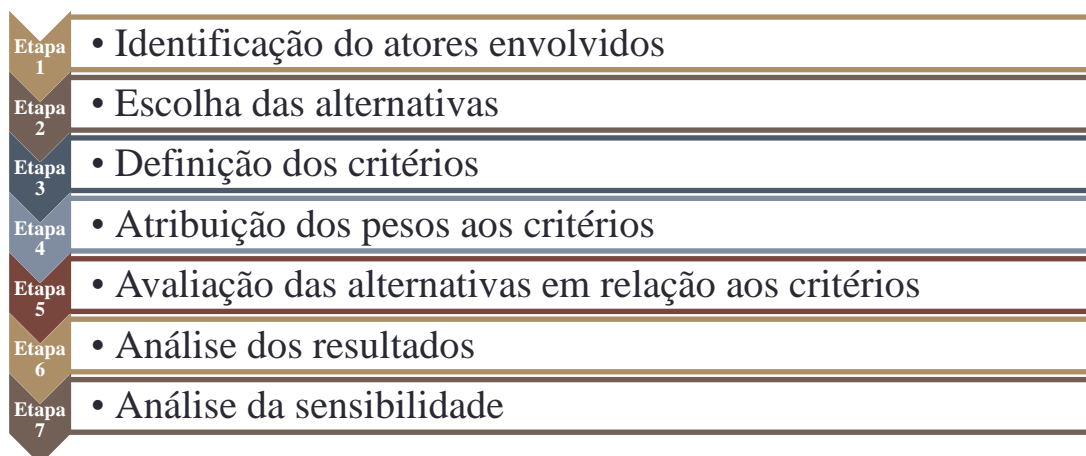


Fonte: Autor (2017).

4.1. Estruturação do problema (estudo de caso)

Para a estruturação do problema alguns passos são importantes, tais como o apontamento das questões chave, determinação de objetivos, definição de atores envolvidos, seleção das alternativas viáveis, critérios de avaliação e atribuição de pesos que permitirão avaliações e discussões, conforme podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do desenvolvimento do método.



Fonte: Autor (2017).

A empresa foco deste trabalho é uma empresa especializada na fabricação de tintas imobiliárias, criada no ano de 2009 com premissa de desenvolver e fabricar produtos com a mais alta qualidade e tecnologia existente no mercado mundial de tintas imobiliárias.

4.2. Identificação dos atores envolvidos

Conforme mencionado anteriormente, no capítulo 3, um processo decisório é formado de “atores”, que são os indivíduos e grupos que têm uma função no processo decisório, influenciando diretamente ou indiretamente na decisão através de seu sistema de valores (sistema que sustenta os julgamentos de valor de um indivíduo ou de um grupo), expressando suas preferências com o propósito de atingir os objetivos.

De acordo com o tipo de problema enfrentado, as pessoas que estão interligadas diretamente a esse processo devem ser claramente identificadas com o objetivo de participarem e colaborarem com a decisão. Essa etapa é muito importante para o entendimento e a resolução do problema, visto que os atores envolvidos estão diretamente relacionados com a construção de um modelo eficiente. No Quadro 7, são relacionados os colaboradores que atuaram no processo decisório em estudo.

Quadro 7 - Atores envolvidos no processo.

Setor	Função
Manutenção	Técnico Mecânico
Manutenção	Assistente de Planejamento e Controle da Manutenção
Manutenção	Supervisor de Manutenção
Produção	Gerentes de Operações

Fonte: Autor (2017).

Cada um dos atores envolvidos no processo decisório participa ativamente nas etapas subsequentes da sistemática, contribuindo com seus conhecimentos específicos em relação ao processo e aos equipamentos.

4.3. Escolha das alternativas

O procedimento de identificação das alternativas, evidentemente, deve ser realizado no início do processo, bem como a verificação da sua viabilidade. Não existe um limite pré-estabelecido de alternativas para solucionar um determinado problema. Em alguns casos, as alternativas são de fácil identificação, em outros, é preciso enumerá-las, e em outros ainda, talvez seja necessário reduzir o número de alternativas, eliminando as que não atenderem a algum critério estabelecido previamente. Deve-se gerar alternativas possíveis, que poderiam ter sucesso na solução do problema.

As alternativas em questão para seleção dos equipamentos críticos ao processo produtivo são os equipamentos envolvidos no processo de britagem e calcinação de minério para formulação de tintas, conforme listados no Quadro 8.

Quadro 8 - Alternativas de decisão.

Alternativa	Equipamento
A1	Moega Vibratória 1
A2	Britador de Mandíbula
A3	Esteira Transportadora 1
A4	Separador Dinâmico
A5	Esteira Transportadora 3 (Estoque Dolomita)
A6	Moega Vibratória 2 (Dolomita)
A7	Esteira Transportadora 8 (silo dolomita)
A8	Moinho Pré-Triturador

Fonte: Autor (2017).

4.4. Definição dos Critérios

Determinar os critérios é estabelecer os parâmetros relevantes a serem utilizados para a avaliação das alternativas, constituindo as relações de preferências entre elas. A escolha dos critérios foi realizada basicamente por meio do levantamento bibliográfico de trabalhos, conforme o Quadro 6, bem como em razão das características do processo e diretrizes de manutenção, feita de forma consensual entre todos os atores envolvidos.

Vale ressaltar que o critério de segurança engloba a segurança humana, do meio ambiente e instalações, considerados pela organização. O Quadro 9 apresenta os critérios selecionados nesta aplicação:

Quadro 9 - Critérios definidos para o problema de decisão.

Setor	Função	Avaliação
1	Risco à Produção	Qualitativa
2	Risco a Qualidade do Produto	Qualitativa
3	Risco à Segurança	Qualitativa

Fonte: Autor (2017).

4.5. Atribuição dos pesos aos critérios

Os critérios raramente possuem a mesma importância, e por isso, nessa etapa do modelo de decisão, são atribuídos pesos, com o objetivo de mostrar a importância de cada critério para o tomador de decisão. Os pesos determinam quanto um critério está disposto a ceder com a finalidade de melhorar o desempenho de outro. Para os critérios estabelecidos neste estudo, os atores atribuíram os pesos referente aos critérios. Em seguida, calculou-se a média aritmética simples de cada critério, cujo resultado será mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 - Atribuição de pesos aos critérios.

	Critérios		
	Risco à Produção	Risco a Qualidade do Produto	Risco à Segurança
Peso	0,55	0,24	0,21

Fonte: Autor (2017).

4.6. Avaliação das alternativas em relação aos critérios

A avaliação das alternativas em relação aos critérios é de extrema importância, pois a partir das alternativas geradas, o tomador de decisão faz a análise e avaliação de forma criteriosa. São analisadas as vantagens e desvantagens de cada

alternativa de solução em relação aos critérios estabelecidos. Como exposto no tópico anterior, a avaliação utilizada em relação aos critérios é qualitativa

Desta forma, foi estabelecido uma escala de avaliação, a partir da escala utilizada por Helmann (2008), por meio da conversão de uma escala subjetiva para uma escala de avaliação quantitativa, propiciando o estabelecimento de valores para os cálculos que irão determinar e selecionar a criticidade dos equipamentos para o processo produtivo. O Quadro 11 apresenta a escala estabelecida para os critérios risco à produção, risco à qualidade do produto e risco à segurança.

Quadro 11 - Escala de avaliação dos critérios.

Insignificante		Pequena		Considerável		Alta		Gravíssimo	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Fonte: Adaptado de Helmann (2008).

A partir da escala proposta por Helmann (2008), montou-se um formulário de avaliação (APÊNDICE A), o qual foi respondido por cada indivíduo do grupo tomador de decisão. As respostas de avaliação para cada alternativa (equipamento) foram agrupadas, e posteriormente calculado a média aritmética simples, cujo resultado decorreu-se na avaliação final do equipamento para o critério específico.

4.7. Análise da sensibilidade

É de extrema importância realizar uma análise de sensibilidade, sobretudo nos pesos dos critérios, a fim de aferir a resistência dos valores das alternativas a possíveis variações nas preferências do tomador de decisão (HELMANN, 2008). Em outras palavras, a análise de sensibilidade investiga a robustez do sistema de decisão e resulta no seguinte:

- Se variações significativas nas preferências do tomador de decisão não acarretam em modificações na solução ótima obtida, nesse caso, o sistema é visto como robusto, e a decisão obtida confiável.
- Se pequenas variações nas preferências do tomador de decisão alteram de forma considerável a solução ótima alcançada, a sugestão é revisar cuidadosamente os pesos atribuídos aos critérios de decisão.

Com objetivo de verificar a robustez do sistema de decisão, bem como a influência do tomador de decisão no resultado, foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo, através de uma variação de ($\pm 15\%$) em cada critério, como proposto por Baran (2015). O procedimento é realizado por planilhas em Excel e consiste em aplicar a variação no peso de cada critério, a qual irá implicar em uma redistribuição dos pesos dos demais critérios, de forma proporcional aos valores originais do modelo, mantendo, assim, a proporcionalidades dos valores dos pesos. Por fim, repetiram-se os cálculos e analisou-se o impacto na seleção das alternativas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Aplicação do modelo a um estudo de caso

Esta seção apresenta a aplicação do modelo desenvolvido em uma empresa de tintas imobiliárias, situada no município de Acarape, Estado do Ceará (Brasil). Os subsídios necessários para aplicação do modelo foram obtidos a partir de reuniões e entrevistas com quatro colaboradores ligados diretamente com a tomada de decisão para gestão de manutenção da empresa.

Para empregar qualquer modelo de decisão, é crucial a análise da estruturação do problema. É nessa fase que se busca compreender a complexidade de uma situação na qual se pretende intervir. Inicialmente, faz-se necessário caracterizar a situação problema e os subsistemas que a envolvem, o que abrange a identificação dos atores, alternativas e os critérios de avaliação que estarão envolvidos com o processo de análise.

Selecionar os equipamentos críticos ao processo produtivo demanda uma visão sistemática do processo no qual eles estão inseridos, as condições operacionais, objetivos e situações específicas de aplicação, que variam de acordo com o segmento industrial.

Vale ressaltar que, conforme Brown (2005), o principal objetivo de se utilizar um método de apoio à decisão é aprimorar sua racionalidade, ou seja, maximizar a probabilidade de que uma escolha nos proporcione um resultado satisfatório. Pode-se dizer que uma escolha racional é aquela que tem como base todo o conhecimento e as experiências do tomador de decisão, consentindo suas preferências de uma maneira lógica e eficaz.

A criticidade foi avaliada para os equipamentos do Quadro 8, sendo os critérios analisados para a tomada de decisão os apresentados no Quadro 9. A Tabela 1 apresenta a avaliação realizada pelo grupo tomador de decisão para cada alternativa em relação a cada critério, além da determinação dos pesos para cada critério (Quadro 10).

Os valores de avaliação e pesos de cada critério para cada alternativa não foram normalizados, visto que foi feito a conversão de uma escala subjetiva para uma escala de avaliação objetiva (Quadro 11), com os critérios da matriz performance na mesma escala. Pelo fato de a somatória dos pesos ser igual a um, também não foi necessário normalizá-los.

Tabela 1 - Matriz performance.

Alternativa / Equipamento	Critérios de Avaliação		
	Risco à Produção	Risco à Qualidade do Produto	Risco à Segurança
A1	0,9500	0,4250	0,4500
A2	0,9250	0,4750	0,7000
A3	0,7750	0,3000	0,3250
A4	0,9250	0,9250	0,3750
A5	0,8750	0,4500	0,4500
A6	0,9000	0,3750	0,5750
A7	0,8750	0,3750	0,5000
A8	0,9250	0,6250	0,7750
Peso do Critério (W)	0,5500	0,2375	0,2125

Fonte: Autor (2017).

A partir da matriz performance e utilizando a Equação 1, calcularam-se os índices de concordância para cada par de alternativas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz concordância.

C (a,b)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	-	0,5500	1,0000	0,7625	0,7625	0,7875	0,7875	0,5500
A2	0,4500	-	1,0000	0,7625	1,0000	1,0000	1,0000	0,5500
A3	0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

A4	0,2375	0,7875	1,0000	-	0,7875	0,7875	0,7875	0,7875
A5	0,4500	0,0000	1,0000	0,2125	-	0,2375	0,7875	0,0000
A6	0,2125	0,0000	1,0000	0,2125	0,7625	-	1,0000	0,0000
A7	0,2125	0,0000	1,0000	0,2125	0,7625	0,2375	-	0,0000
A8	0,4500	1,0000	1,0000	0,7625	1,0000	1,0000	1,0000	-

Fonte: Autor (2017).

Posteriormente, calculou-se o valor da constante (δ), a partir da Equação 2, obtendo-se o resultado de 0,5250, para em seguida serem obtidos os índices de discordância. Efetuando-se os cálculos por meio da Equação 3 para os pares de alternativas, foi possível obter a matriz discordância expressa na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz discordância.

D (a,b)	A1	A2	A3	A4	A8	A10	A12	A13
A1	-	0,4000	0,0000	0,8000	0,0400	0,2000	0,0800	0,5200
A2	0,0400	-	0,0000	0,7200	0,0000	0,0000	0,0000	0,2400
A3	0,2800	0,6000	-	1,0000	0,2400	0,4000	0,2800	0,7200
A4	0,1200	0,5200	0,0000	-	0,1200	0,3200	0,2000	0,6400
A5	0,1200	0,4000	0,0000	0,7600	-	0,2000	0,0800	0,5200
A6	0,0800	0,2000	0,0000	0,8800	0,1200	-	0,0000	0,4000
A7	0,1200	0,3200	0,0000	0,8800	0,1200	0,1200	-	0,4400
A8	0,0400	0,0000	0,0000	0,4800	0,0000	0,0000	0,0000	-

Fonte: Autor (2017).

Uma vez obtidas as matrizes concordância e discordância, calcularam-se os limiares de concordância e discordância, como proposto por Hein et al. (2010), bem como de acordo com as preferências que melhor atenderiam as necessidades da empresa. Para este estudo, os valores calculados foram os dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Limiares de concordância e discordância.

Concordância (p)	Discordância (q)
0,5473	0,2636

Fonte: Autor (2017).

A melhor ou melhores alternativas (equipamentos de maior criticidade) são as que atendem às condições da Equação 4, ou seja, a alternativa A_a domina a alternativa A_b se e somente se: $C(a,b) > p$ e $D(a,b) < q$. Realizando-se as comparações para cada par de alternativas, obtém-se a matriz dominância (Tabela 5).

Tabela 5 - Matriz dominância.

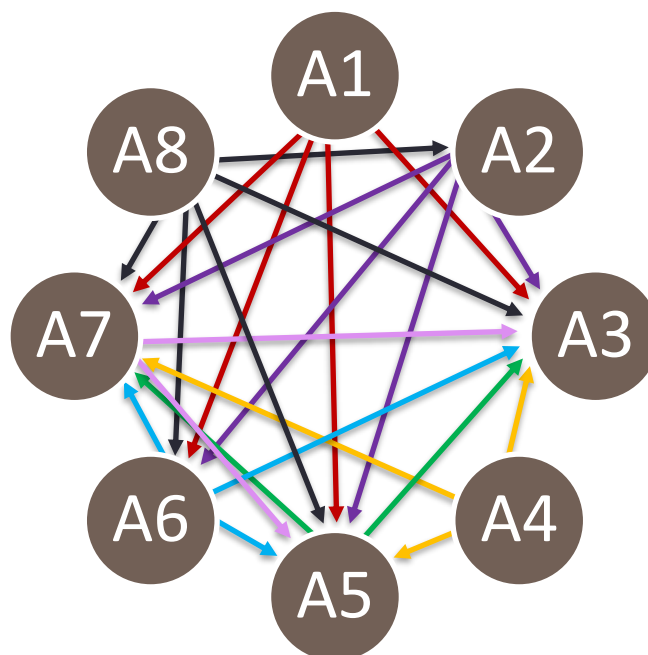
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	-	0	1	0	1	1	1	0
A2	0	-	1	0	1	1	1	0
A3	0	0	-	0	0	0	0	0
A4	0	1	1	-	1	1	1	1
A5	0	0	1	0	-	0	1	0
A6	0	0	1	0	1	-	1	0
A7	0	0	1	0	1	0	-	0
A8	0	1	1	1	1	1	1	-

Fonte: Autor (2017).

Baseando-se na matriz dominância e com o auxílio da teoria dos grafos, foi realizada uma análise das relações de superação entre as alternativas, conforme representado na Figura 3.

A partir dos limiares estabelecidos, utilizando-se o método MCDA ELECTRE I, selecionaram-se os equipamentos de alta criticidade para o estudo de caso realizado. No Grafo da Figura 3, é possível visualizar que os equipamentos 1, 4 e 8, moega vibratória 1, separador dinâmico e moinho pré-triturador, respectivamente, são os mais críticos ao processo produtivo, visto que estes três não foram sobreclassificados por nenhum outro equipamento no processo.

Figura 3 - Grafo das relações de superação entre as alternativas.



Fonte: Autor (2017).

Analisando-se a matriz dominância, foi possível identificar a dominância por linha e coluna entre as alternativas, e assim montar as relações de sobreclassificação para a construção do conjunto *Kernel*. Tal ferramenta permitiu selecionar os equipamentos críticos ao processo produtivo, como mostrado abaixo:

- $K = \{A1, A4 \text{ e } A8\}$;
- $D = \{A2, A3, A5, A6 \text{ e } A7\}$.

De acordo com as condições encontradas na literatura sobre a análise do *Kernel*, só podem fazer parte do subconjunto final as alternativas que não são sobreclassificadas por nenhuma alternativa, como os equipamentos $\{A1, A4 \text{ e } A8\}$, e também as alternativas que não são sobreclassificadas pelas alternativas escolhidas anteriormente. Porém, todos os equipamentos remanescentes não satisfazem essa condição. Consequentemente, o subconjunto final é composto por $\{A1, A4 \text{ e } A8\}$.

Foi possível também analisar as relações de sobreclassificação entre as alternativas através da Tabela de dominância, na qual foram selecionados os equipamentos A1, A4 e A8 como os mais críticos para o processo produtivo (Tabela 6).

Tabela 6 - Tabela de dominância.

	Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção
A1	4	0	4	Escolhido
A2	4	1	3	
A3	0	7	-7	
A4	3	0	3	Escolhido
A5	2	6	-4	
A6	3	3	0	
A7	2	6	-4	
A8	5	0	5	Escolhido

Fonte: Autor (2017).

Alárcon, Grau e Torres (2007) utilizaram o ELECTRE I na priorização da ordem de reparos em redes de telecomunicações e justificaram sua escolha afirmando que o método escolhido permitia encontrar a melhor alternativa sem considerar o arranjo relativo do restante das alternativas. Os autores afirmaram também que obtiveram resultados satisfatórios, contudo, no modelo desenvolvido, foi necessário realizar uma filtragem das alternativas, antes de sua priorização pelo método.

Com o intuito de possibilitar uma análise mais apurada e de verificar a influência do tomador de decisão na solução, foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo, como descrito na seção 4.7, verificando-se o impacto na seleção dos equipamentos críticos ao processo.

Esse teste de sensibilidade justifica-se pelo alto grau de subjetividade do método ELECTRE I, pois a variação nos pesos dos critérios e conseqüentemente dos valores dos limiares podem modificar a relação de sobreclassificação. Desta maneira, o resultado final depende do entendimento do tomador de decisão. A Tabela 7 apresenta os valores utilizados na análise e a variação de cada critério.

Tabela 7 - Variação dos pesos utilizada na análise de sensibilidade.

	Crítérios		
	Risco à Produção	Risco à Qualidade do Produto	Risco à Segurança
Peso Originais	0,55	0,2375	0,2125
↑ 15%	0,6325	0,2731	0,2444
↓ 15%	0,4675	0,2019	0,1806

Fonte: Autor (2017).

Em seguida, realizou-se uma nova simulação, considerando as variações dos pesos apresentadas na Tabela 7. Desta vez, foi necessário realizar a normalização dos pesos, tomando-se como método de normalização o quociente entre o elemento a ser normalizado e a soma total. Tal normalização ocorreu efetivamente, visto que a somatória dos pesos dos critérios é um valor maior do que um. A Tabela 8 apresenta a variação na seleção dos equipamentos críticos ao processo com a alteração do peso de cada critério, utilizando-se a análise de sobreclassificação entre as alternativas.

Tabela 8 – Variação apresentada na análise de sensibilidade.

C1 (RISCO À PRODUÇÃO)											
↑ 15%					↓ 15%						
Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção	Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção	Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção
A1	4	0	4	Escolhido	A1	3	0	3	Escolhido		
A2	4	1	3		A2	4	1	3			
A3	0	7	-7		A3	0	7	-7			
A4	3	0	3	Escolhido	A4	3	0	3	Escolhido		
A5	2	6	-4		A5	2	3	-1			
A6	3	3	0		A6	2	3	-1			
A7	2	6	-4		A7	1	6	-5			
A8	5	0	5	Escolhido	A8	5	0	5	Escolhido		

C2 (RISCO À QUALIDADE DO PRODUTO)											
↑ 15%					↓ 15%						
Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção	Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção	Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção
A1	3	0	3	Escolhido	A1	4	0	4	Escolhido		
A2	4	1	3		A2	4	1	3			
A3	0	7	-7		A3	0	7	-7			
A4	3	0	3	Escolhido	A4	3	0	3	Escolhido		
A5	2	3	-1		A5	2	6	-4			
A6	2	3	-1		A6	3	3	0			
A7	1	6	-5		A7	2	6	-4			
A8	5	0	5	Escolhido	A8	5	0	5	Escolhido		

Tabela 8 – Variação apresentada na análise de sensibilidade (continuação).

C3 (RISCO À SEGURANÇA)									
↑ 15%					↓ 15%				
Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção		Dom. por linha (L)	Dom. por coluna (K)	Dif. (L-K)	Seleção	
A1	2	0	2	Escolhido	A1	4	0	4	Escolhido
A2	4	1	3		A2	4	1	3	
A3	0	7	-7		A3	0	7	-7	
A4	1	0	1	Escolhido	A4	3	0	3	Escolhido
A5	1	5	-4		A5	2	6	-4	
A6	3	2	1		A6	3	3	0	
A7	2	3	-1		A7	2	6	-4	
A8	5	0	5	Escolhido	A8	5	0	5	Escolhido

Fonte: Autor (2017).

Com base na Tabela 8, verifica-se que, conforme a variação em cada critério, nenhuma alteração foi apresentada no que diz respeito à seleção dos equipamentos. Assim, o modelo se comportou de forma consistente, visto que não ocorreram mudanças abruptas na seleção das alternativas. Além disso, em metade das situações simuladas, as relações de dominância foram mantidas exatamente iguais ao resultado obtido na Tabela 6. Na outra metade, ocorreram pequenas discrepâncias, mas que não impactaram no resultado da seleção dos equipamentos críticos ao processo.

Com essa análise, é possível afirmar que o *Kernel* continuou formado pelos equipamentos A1, A4 e A8, moega vibratória 1, separador dinâmico e moinho pré-triturador, respectivamente. O resultado obtido com o uso do modelo sugere, portanto, que a empresa poderá direcionar seus recursos para ações de manutenção voltados a estes equipamentos, considerados críticos ao processo produtivo. É importante destacar a necessidade da elaboração de práticas voltadas para o planejamento e controle da manutenção desses equipamentos, em que devem ser detalhados todos os aspectos relevantes para implantação de ações no ambiente industrial.

Destaca-se o trabalho realizado por Helmann e Marçal (2007), no qual expuseram uma proposta de avaliação da criticidade de equipamentos com utilização do ELECTRE I, apresentando de forma minuciosa sua aplicação para auxiliar a Gestão da Manutenção. O objetivo geral da pesquisa foi determinar os equipamentos críticos ao processo produtivo com o propósito de estabelecer políticas de manutenção diferenciadas, a fim de evitar danos humanos, financeiros e ambientais à empresa, aos colaboradores e à sociedade.

Já Baran (2015) utilizou a análise de decisão multicritério com base nos métodos de sobreclassificação ELECTRE TRI e PROMETHEE II para determinar a criticidade em processos industriais e consideraram os seguintes critérios para aplicação do modelo: segurança; meio-ambiente; qualidade; impacto operacional; impactos econômicos; tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo. Como resultado, os autores apresentaram comparações do modelo proposto com os métodos tradicionais de determinação de criticidade, procurando observar aspectos subjetivos e objetivos de forma conjunta, a fim de fornecer uma visão clara e sistêmica sobre os problemas implícitos na determinação da criticidade em sistemas industriais.

Nos estudos mencionados acima, bem como no estudo realizado neste trabalho, mesmo que aplicados em situações distintas, percebe-se a importância de alguns fatores fundamentais em decisões na área de manutenção, tais como segurança, meio-

ambiente, impacto na produção (operacional, qualidade, econômico). Outro ponto relevante é que as aplicações possuem critérios que englobam aspectos qualitativos e quantitativos, comprovando-se a necessidade de se utilizar métodos de avaliação eficientes, capazes de avaliar de forma objetiva e subjetiva o problema, justificando-se a utilização da ferramenta MCDA.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

6.1. Conclusões

Realizar o gerenciamento da manutenção nas organizações possui certa complexidade, em que a determinação da criticidade dos equipamentos nos processos serve de base para garantir uma eficiente alocação dos recursos disponíveis.

Neste sentido, esta pesquisa presta sua contribuição com a aplicação de um método de seleção de equipamentos críticos ao processo produtivo industrial, apoiado no método de análise de decisão multicritério ELECTRE I, podendo auxiliar a empresa foco deste estudo na definição de políticas de serviços de manutenção adequados aos equipamentos ou sistemas, procedimentos operacionais e manuais de treinamento, reduzindo-se, assim, desperdício de tempo e recursos, tanto materiais como humanos.

Este trabalho apresentou um estudo de caso numa empresa de tintas imobiliárias em Acarape/CE, propondo-se utilizar uma sistemática para seleção da criticidade de equipamentos em processos industriais com base no método MCDA de apoio à decisão, o ELECTRE I. Tal método mostrou-se eficaz para a resolução do problema proposto, contribuindo para a tomada de decisão dos gestores da manutenção. Desta forma, considera-se que os objetivos do trabalho foram atingidos, com o desenvolvimento do método descrito acima.

Destaca-se que a utilização do método MCDA propiciou uma avaliação conjunta dos equipamentos, realizando-se a comparação de cada par de equipamentos para cada critério, evidenciando de forma sólida, imparcial e segura em cada critério qual equipamento é mais crítico no processo. Vale ressaltar que os métodos MCDA não apresentam uma solução ótima para o problema, mas uma solução coerente através do equilíbrio do processo de decisão e das relações existentes entre as alternativas, critérios e preferências dos tomadores de decisão.

Por fim, a determinação de criticidade dos equipamentos deve ser vista e praticada como parte do sistema de gerenciamento da manutenção da empresa, mantendo um caráter metodológico e não apenas empírico. Realizar análises de criticidade dos equipamentos permite viabilizar ações que garantam a melhor aplicação de recursos, como por exemplo, o estabelecimento de políticas de manutenção diferenciadas para cada grupo de equipamentos, análise de peças sobressalentes dos equipamentos, terceirização de serviços de manutenção, dentre outras, garantindo-se maior confiabilidade ao sistema.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se que sejam aplicados outros métodos MCDA com a problemática de seleção, para a comparação com o método ELECTRE I. Assim como a aplicação de métodos MCDA com a problemática de ordenação e classificação dos equipamentos críticos ao processo produtivo analisado, e nos demais processos produtivos da empresa, visto que com a aplicação do método ELECTRE I, não fica estabelecida a ordenação entre as alternativas.

Recomenda-se que sejam pesquisados e implementados outros métodos que considerem, além da preferência dos tomadores de decisão, características do regime de operação do equipamento, indicadores do segmento em que é realizada a análise, como também a utilização de outros critérios, como por exemplo, a disponibilidade de mão-de-obra, a política da empresa, entre outros.

REFERÊNCIAS

ALARCON, M. J.; GRAU, J. B.; TORRES, J. Application of ELECTRE I method to restoration actions in telecommunication network maintenance. In: Industrial Electronics, 2007, Vigo, **Proceedings...** Vigo: IEEE, 2007. p. 3430-3434.

ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão Multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.

ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. **International Series in Operations Research & Management Science**. Cham, v. 231, n. 1, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:1994**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AVEN, T. Identification of safety and security critical systems and activities. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 94, n. 2, p. 404-411, 2009.

BARAN, L. R. **Proposta de um modelo multicritério para determinação da criticidade na gestão da manutenção industrial**. 2015. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA, 2008.

BRISTOT, V. M. **Estudo para implementação de sistema de gestão de manutenção em indústrias de conformação de revestimentos cerâmicos**. 2012. Tese (doutorado em processos de fabricação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2012.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS 3811: 1993, Glossary of Terms Used in Terotechnology. 1993.

BROWN, M. V. **Applying the Predictive Approach**. New Standard Institute, Inc, 2005. Disponível em:

<http://www.plantservices.com/knowledge_centers/lsi/assets/Applying_the_Predictive_Approach.pdf>. Acesso em: 23 de out. 2017.

CAPUANO, M.; KORITKO, S. Risk-oriented maintenance. **Biomed. Instr. Technol.** v. 30, n 1, p.25-37, 1996.

CAROT, V.; SANZ, J. Criticality and sensitivity analysis of the components of a system. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 68, n. 1, p. 147–152, 2000.

CARVALHO, A. M.; GOMES, G. M.; BORGES, M. C.; FERREIRA JÚNIOR, N. B. **Implantação de sistema informatizado para planejamento e controle da manutenção – Empresa Vileflex**. 91 f. 2009. Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial) - Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Vale do Rio Doce, Governador Valadares, 2009.

CASTELLA, M. C. **Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CAVALCANTI, A. M.; CARDOSO, W. Z. Estudo de caso: Aplicação do conceito de manutenção como função estratégica, em uma empresa de transporte aéreo não regular. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, **Anais...** Salvador: ENEGEP, 2013.

CERTA, A; ENEA, M; LUPO, T. ELECTRE III to dynamically support the decision maker about the periodic replacements configurations for a multicomponent system, **Decision Support Systems**, v. 55, n. 1, p. 126-134, 2013.

CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; SLACK, N. Administração da produção. **São Paulo: Atlas**, 2002.

CHAREONSUK, C.; NAGARUR, N.; TABUCANON, M. T. A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals. **International Journal of Production Economics**, v. 49, n. 1, p. 55-64, 1997.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2011. 630 p.

CHO, K. T. Multicriteria decision methods: An attempt to evaluate and unify. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 37, n. 9–10, p. 1099-1119, 2003.

FARIA, N. A. C. C. **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto**. 116 f. 2013. Dissertação (Mestrado em engenharia industrial e gestão) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

FIGUEIRA, J.; MOUSSEAU, V.; ROY, B. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, **Springer Science+Business Media**, New York, p. 133-162, 2005.

FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro [On line]. Disponível em <<http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf>> Acesso em 18 out. 2017.

FURMANN, J. C. **Desenvolvimento de um modelo para melhoria do processo de manutenção mediante a análise de desempenho de equipamentos**. 149 f. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 168 p.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S. **Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

GUARNIERI, P. Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. **RAC-Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, n. 1, p. 1-25. 2015.

HEIN, N; SILVA, T; KROENKE, A. Método ELECTRE I na avaliação de materiais de (re)construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2010, Bento Gonçalves, **Anais... XLII SBPO/Sobrapo**, Bento Gonçalves, 2010.

HELMANN, K. S. **Uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais baseada na abordagem multicritério**. 95f. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2008.

HELMANN, K. S; MARÇAL, R. F.M. Método multicritério de apoio à decisão na gestão da manutenção: aplicação do método ELECTRE I na seleção de equipamentos críticos para processo. **Revista Gestão Industrial**, v. 3, n. 1, p. 123-134, 2007.

HIJES, F. C. G. L; CARTAGENA, J. J. R. Maintenance strategy based on a multi criteria classification of equipments. **Reliability Engineering and System Safety**. v. 91, n. 4 p. 444-451, 2006.

INÁCIO, P. P. A; BARBIERI, A. C; LIMA, J. P. Análise multicritério para priorização de manutenção de equipamentos de uma praça de pedágio. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, 2016, **Anais... XLVIII SBPO**: Vitória, 2016.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION et al. **Analysis Techniques for System Reliability: Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. International Electrotechnical Commission, 2006.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. “**Análise Comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE.**” XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012.

MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à Administração**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 419 p.

MONCHY, F. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo: EBRAS/DURBAN, 1989.

MOSS, T. R.; WOODHOUSE, J. Criticality analysis revisited. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 15, n. 2, p. 117-121, 1999.

NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise de implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 146 f. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OLIVEIRA, E; ANTUNES, C. H; GOMES, A. A comparative study of different approaches using an outranking relation in a multi-objective evolutionary algorithm. **Computers & Operations Research**, v. 40, n. 6, p. 1602-1615, 2013.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, 2008.

ROY, B. **Classement et choix en presence de points de vue multiples** (la methode ELECTRE). Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1968.

ROY, B. **Methodologie multicritere d'Aide a la decision**. Paris: Economica, 1985.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Kluwer Academic Publishers, 1996.

SANTOS, A. C. Q. **Abordagem multicritério para classificação de equipamentos críticos e determinação de tempos de inspeções para manutenção**. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SELLITTO, M. A.; FACHINI, S. J. Análise Estratégica da Gestão da Manutenção Industrial de uma empresa de Metal-Mecânica. **Tecnologias para a Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 7, n. 1, 2014.

SILVA, D. A.; ANTUNES, M. V. **Proposta de Implantação da Manutenção Preventiva em um Supermercado do Oeste do Paraná**. 79 f. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de tecnologia em manutenção industrial) - Universidade Tecnológica do Paraná, Medianeira, 2012.

SIMÕES FILHO, S. **Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos**. 299 f. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, R.; HAWKINS, B. **Lean maintenance**: reduce costs, improve quality, and increase market share. 1. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2004.

SOUZA, F. M. C. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Universitária UFPE, 2002.

SOUZA, V. C. **Organização e Gerência da Manutenção**: Planejamento, programação e controle de manutenção. 3. ed. São Paulo: All Print Editora, 2009.

TAVARES, L. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 1999.

THOMAIDIS, T.; HOMAS V.; PISTIKOPOULOS, S. Criticality Analysis of Process Systems. **Reliability and Maintainability**, v. 26, n. 29, p. 451-458, 2004.

- VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2013.
- VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. New York: John Wiley, 1992.
- WAEYENBERG, G.; PINTELON, L.; GELDERS, L. **JIT and Maintenance. Maintenance, Modeling and Optimization**. Boston: Kluwer Academic Publisher, 2000.
- WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: INDG, 2004.
- YANG, F.; KWAN, C.M., CHANG, C.S.; Multiobjective Evolutionary Optimization of Substation Maintenance Using **Decision-Varying Markov Model**, v. 23, p. 1328- 1335, 2008.
- ZELNY, M. Optimal system design with multiple criteria: programming approach. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 10, n. 2, p. 89-94, 1986.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Avaliador: _____ Data: ___/___/2017

Equipamento: _____ Processo: _____

Orientações sobre o preenchimento: esta é uma avaliação que se baseia na experiência e conhecimento de cada decisor sobre o processo. É solicitado uma avaliação criteriosa e imparcial. No caso de dúvidas em relação as perguntas ou a escala avaliativa apresentada procure a esclarecer antes de responder. Suas respostas trarão contribuições para auxiliar na seleção da criticidade deste equipamento.

- 1) Em relação à **PRODUÇÃO** uma falha no equipamento levará à ocorrência de perdas ao processo produtivo:

Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Gravíssimo	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

- 2) Em relação à **QUALIDADE** uma falha no equipamento afetará o nível de qualidade do produto:

Insignificante		Pequena		Considerável		Alta		Gravíssimo	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

- 3) Em relação à **SEGURANÇA** do ser humano, meio ambiente ou instalações, uma falha no equipamento terá consequências:

Insignificantes		Pequenas		Consideráveis		Altas		Gravíssimas	
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Fonte: Adaptado de Helmann (2008).