



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ISIS DA SILVA VIEIRA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE
MANUTENÇÃO EM ATIVOS FÍSICOS**

Recife

2022

ISIS DA SILVA VIEIRA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE
MANUTENÇÃO EM ATIVOS FÍSICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia da Produção.

Área de concentração: Gerencia da Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.

Recife

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

V658m Vieira, Isis da Silva.
Modelo multicritério para priorização de atividades de manutenção em ativos físicos / Isis da Silva Vieira. – 2022.
82 f.: il., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Recife, 2022.
Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Atividades de manutenção de ativos. 3. Priorização de atividades de manutenção. 4. Decisão multicritério. I. Costa, Ana Paula Cabral Seixas (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2022-226



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE**

ISIS DA SILVA VIEIRA

*“MODELO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO
EM ATIVOS FÍSICOS”*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos(as) professores(as) abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o(a) candidato(a) **ISIS DA SILVA VIEIRA, APROVADO(A)**.

Recife, 21 de fevereiro de 2022.

Prof^ª. ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutora (UFPE)

Prof^ª. EDUARDA ASFORA FREJ, Doutora (UFPE)

Prof. FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA MOTA, Doutor (UFPI)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Francisca e meu pai Júnior, pelo apoio constante e por sempre acreditarem em mim em tudo que me propus a fazer.

Agradeço a minha orientadora, Ana Paula Cabral Seixas Costa, por me auxiliar em todos os momentos que precisei durante esta jornada e por estar sempre presente, me orientando da melhor forma possível possibilitando o aprendizado constante.

Agradeço as minhas colegas de apartamento Maria Clara, Amanda e Paolla que tornaram os dias mais leves ao compartilhar os desafios e conquistas ao longo dessa trajetória.

Agradeço aos meus colegas de laboratório que sempre buscaram me ajudar em todos os momentos de dúvidas.

Agradeço ao CNPq e CAPES por fornecer suporte financeiro e contribuído para a minha permanência no programa e conclusão desta pesquisa.

RESUMO

No contexto da manutenção diariamente os executores se deparam com as demandas de atividades decorrentes do plano de manutenção, solicitações de manutenção corretiva e eventualmente outros serviços que podem surgir. Devido ao surgimento dessas demandas diárias, as atividades necessitam passar por um processo de seleção com o intuito de definir as demandas que são relevantes e prioritárias levando em consideração os objetivos da organização. A questão principal está em volta do processo de priorização, uma vez que existem alguns fatores a serem considerados para a sua realização. Geralmente a priorização das atividades de manutenção de ativos ocorre de forma empírica e com isso surge a necessidade de identificar métodos que possam auxiliar nesse quesito, para isso o presente trabalho faz uso da abordagem de decisão multicritério para viabilizar melhores resultados e auxílio a tomada de decisão considerando os objetivos e metas das organizações. O trabalho apresenta a estruturação e aplicação de dois modelos multicritério para o problema de priorização de atividades de manutenção corretivas e preventivas em ativos físicos. O primeiro modelo proposto busca priorizar atividades de manutenções corretivas, para tal foi utilizado o método multicritério FITradeoff. O segundo modelo aborda a priorização do conjunto de atividades de manutenções preventivas e corretivas, com o intuito de obter um portfólio contendo as atividades priorizadas, para este segundo caso foi utilizado o método multicritério PROMETHEE V. Os modelos foram aplicados em duas empresas localizadas no estado de Pernambuco. A empresa de aplicação do primeiro modelo está inserida no contexto logístico, realizando transportes de mercadorias diversas para os estados do Brasil. O segundo modelo foi aplicado em uma empresa do setor industrial, contexto mais comum quanto a práticas de manutenção. Os modelos propostos motivam a melhoria da gestão de ativos, com isso obter maior vantagem competitiva, melhor aproveitamento dos recursos, apoio a tomada de decisão e melhoria do processo a partir da priorização adequada das atividades.

Palavras-chave: atividades de manutenção de ativos; priorização de atividades de manutenção; decisão multicritério.

ABSTRACT

In the context of daily maintenance, the performers are faced with the demands of activities arising from the maintenance plan, corrective maintenance requests and eventually other services that may arise. Due to the emergence of these daily demands, activities need to go through a selection process in order to define the demands that are relevant and priority, taking into account the organization's objectives. The main issue is around the prioritization process, as there are some factors to be considered for its realization. Generally, the prioritization of asset maintenance activities occurs empirically and with this arises the need to identify methods that can help in this regard. For this reason, the present work uses the multi-criteria decision approach to enable better results and aid decision-making considering the objectives and goals of organizations. The work presents the structuring of two multicriteria models for the problem of prioritizing corrective and preventive maintenance activities in physical assets. The first proposed model seeks to prioritize corrective maintenance activities, for which the FITradeoff multicriteria method was used. The second model addresses the prioritization of the set of preventive and corrective maintenance activities, in order to obtain a portfolio containing the prioritized activities. For this second case, the multicriteria method PROMETHEE V was used. The models were applied in two different companies located in state of Pernambuco. The company applying the first model is part of the logistical context, transporting various goods to the states of Brazil. The second model was applied in a company in the industrial sector, the most common context regarding maintenance practices. The proposed models motivate the improvement of asset management, thereby obtaining greater competitive advantage, better use of resources, support for decision-making and process improvement based on the proper prioritization of activities.

Keywords: asset maintenance activities; prioritization of maintenance activities; multicriteria decision.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Ciclo de vida de um ativo	27
Figura 2 –	Ciclo de vida do ativo considerando atividades de gestão	28
Figura 3 –	Processo de priorização de atividades	41
Figura 4 –	Trabalhos sobre priorização de atividades	42
Figura 5 –	Fatores para priorização de atividades preventivas	45
Figura 6 –	Framework para resolução de um problema de decisão	50
Figura 7 –	Fluxo do modelo de priorização	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Tempo de utilização do ativo (Subcritério A)	52
Tabela 2 –	Quantidade de máquinas alternativas Subcritério B	52
Tabela 3 –	Critério de impacto na produtividade	53
Tabela 4 –	Tempo de inatividade (Subcritério A)	53
Tabela 5 –	Tempo de resolução (Subcritério B)	53
Tabela 6 –	Critério de criticidade da atividade	54
Tabela 7 –	Critério de impacto da falha na produtividade	54
Tabela 8 –	Critério de segurança e saúde	55
Tabela 9 –	Critério de impacto ambiental	55
Tabela 10 –	Critério de impacto na qualidade do produto	56
Tabela 11 –	Descrição dos critérios	56
Tabela 12 –	Alternativas do problema	61
Tabela 13 –	Critérios do problema	61
Tabela 14 –	Matriz de Avaliação	62
Tabela 15 –	Ordem dos critérios	63
Tabela 16 –	Ranking das ações priorizadas	63
Tabela 17 –	Alternativas do problema	69
Tabela 18 –	Critérios do problema	69
Tabela 19 –	Matriz de Avaliação	70
Tabela 20 –	Ranking das alternativas	71
Tabela 21 –	Valores das restrições do problema	71
Tabela 22 –	Resultado portfólio	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.4	MÉTODO DE PESQUISA	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	BASE CONCEITUAL	17
2.1	MANUTENÇÃO	17
2.2	EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	18
2.2.1	Primeira geração	18
2.2.2	Segunda geração	18
2.2.3	Terceira geração	19
2.2.4	Quarta geração	19
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO	19
2.3.1	Manutenção corretiva	20
2.3.2	Manutenção preventiva	20
2.3.3	Manutenção preditiva	21
2.4	PLANEJAMENTO E GESTÃO DA MANUTENÇÃO	22
2.5	GESTÃO DE ATIVOS	23
2.5.1	Ciclo de vida dos ativos	25
2.6	DECISÃO MULTICRITÉRIO	29
2.6.1	Método de elicitação flexível FITradeoff	30
2.6.2	Análise multicritério de portfólio	31
2.6.3	Método PROMETHEE	33
3	REVISÃO DE LITERATURA	39
3.1	PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO	39
3.2	PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS	43
3.3	PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÕES CORRETIVAS	45

3.4	POSICIONAMENTO DO TRABALHO	47
4	MODELOS PROPOSTOS	49
4.1	MODELO I	49
4.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	49
4.2.1	Modelagem e estruturação do problema	50
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO I	59
4.3.1	Contexto de aplicação	60
4.4	MODELO II	64
4.4.1	Formulação do modelo de programação linear	66
4.4.1.1	Restrições do modelo	67
4.5	APLICAÇÃO MODELO II	67
4.5.1	Contexto de aplicação	68
4.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MODELOS	73
5	CONCLUSÃO	76
5.1	TRABALHOS FUTUROS	77
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

Por muito tempo as atividades de manutenção eram consideradas apenas como integradas a atividade operacional da organização, não existia a ideia de que as atividades de manutenção estavam diretamente alinhadas com os objetivos estratégicos da organização e assim não eram consideradas como uma função essencial. Esse cenário vem mudando aos poucos, de modo que as empresas perceberam o potencial e destaque competitivo que podem obter com as atividades de manutenção, se realizadas de forma adequada, a partir disto passa a ter um maior destaque transformando-se uma função essencial para aumento da competitividade do negócio (PINJALA; PINTELON; VEREECKE, 2006).

Segundo Márquez *et al.* (2009) a manutenção é considerada uma função chave na organização. No cenário atual a gestão da manutenção pode ser considerada uma peça essencial das atividades produtivas e assim pode ser entendida como uma forma de obter vantagem competitiva, dessa forma podendo ser apontada como uma ferramenta estratégica para as organizações.

A prática de manutenção nas organizações torna-se essencial para uma adequada gestão de funcionamento das máquinas e equipamentos, bem como impacta diretamente no ganho da empresa com a redução de retrabalho, diminuição de perdas e custos de reparo (WAEYENBERGH; PINTELON, 2002).

Com o aumento do desenvolvimento de tecnologias e conceitos há uma influência direta ou indireta com a manutenção. Com isso existe uma crescente necessidade em identificar a relação existente entre as atividades da organização e as atividades de manutenção.

As estratégias de negócio utilizadas pelas organizações possuem uma forte relação com as estratégias de manutenção. Com isso é perceptível a sua importância dentro de uma organização (PINJALA; PINTELON; VEREECKE, 2006). Podendo destacar que as atividades de manutenção devem estar diretamente alinhadas com os objetivos estratégicos da empresa.

A manutenção é um requisito crítico dentro das organizações, trazendo consequências preocupantes quando ignorada (WING; MOHAMMED; ABDULLAH, 2016). Em alguns contextos existe uma maior exigência para a prática da manutenção, isso é facilmente observado por exemplo em uma caldeira que necessita de um padrão maior de rigor em relação a manutenção se comparado aos ativos em uma pequena fábrica de tecidos.

Em alguns casos devido a necessidade de benefícios a curto prazo as decisões relacionadas a seleção, desenvolvimento e implantação de ativos são tomadas de forma equivocada (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013). Ao mesmo tempo muitas organizações possuem recursos escassos, principalmente quando se trata do contexto de manutenção, onde os investimentos financeiros são geralmente reduzidos (LOPES *et al.*, 2020).

A partir disso as empresas devem buscar entender e incorporar a gestão de ativos para aumento da competitividade e desenvolvimento da empresa (HASTINGS, 2015). Buscando obter uma melhor tomada de decisão diante da gestão de ativos.

Algumas organizações necessitam gerenciar uma grande quantidade de ativos e devido a isso surge a necessidade de realizar a priorização das atividades de manutenção. Para isso uma tomada de decisão assertiva passa a ser crucial dentro dessas organizações (ANDRUSCA *et al.*, 2012). A gestão de ativos fornece suporte a tomada de decisão com relação aos ativos da organização (HASTINGS, 2015).

Diversas decisões são tomadas de forma empírica sem o uso de métodos de apoio a decisão. A partir disso surge a necessidade de implementar modelos de decisão e métodos que possam fundamentar as decisões tomadas diariamente nas organizações (DE ALMEIDA, 2013).

A priorização das atividades de manutenção dentro da gestão de ativos envolve um cenário de diversos objetivos a serem alcançados com as atividades de manutenção. Esses objetivos para serem alcançados geralmente envolvem múltiplos critérios, em grande parte conflitantes entre si. Dessa forma a priorização das atividades de manutenção pode ser tratada como um problema de decisão multicritério.

A partir do que foi explanado o objetivo deste trabalho é propor um modelo de decisão multicritério para priorização de atividades de manutenção em ativos físicos, e dessa forma, auxiliar na gestão dos ativos através de uma melhor tomada de decisão. Serão apresentados dois modelos multicritério que se adequam as demandas frequentes enfrentadas pelas organizações. O primeiro modelo apresenta a priorização de atividades corretivas que não indisponibilizam o sistema e o segundo modelo apresenta a priorização de atividades preventivas e corretivas, obtendo um portfólio ótimo para a execução.

1.1 JUSTIFICATIVA

A manutenção busca uma relação de máxima garantia da confiabilidade e disponibilidade dos ativos alinhado com a redução de custos, assegurando a qualidade da

função manutenção. Para garantir o atendimento das demandas de manutenção é preciso, dessa forma, um meio apropriado para a priorização das atividades de manutenção a partir das necessidades e objetivos da organização.

O aumento da complexidade das decisões gerenciais tem impulsionado a necessidade de buscar melhorias em relação a qualidade e velocidade da tomada de decisão nas organizações. Para isso o planejamento e gestão de ativos são primordiais no contexto de gerenciamento das operações de manutenção.

Viana (2002) defende que o planejamento da manutenção deve ser necessariamente estabelecido, uma vez que apresenta de forma detalhada as informações necessárias para a execução das atividades de manutenção, observando que a manutenção mantém uma estrutura adequada para o funcionamento dos equipamentos.

No ambiente empresarial em grande parte os recursos podem ser limitados e escassos, com isso há uma necessidade de priorizar as atividades de manutenção a fim de conseguir um maior aproveitamento e garantir a alocação correta dos recursos disponíveis (HIJES; CARTAGENA, 2006; KHANLARI; MOHAMMADI; SOHRABI, 2008).

Podem ser observados alguns aspectos que geralmente ocorrem no contexto do processo de manutenção. Inicialmente são identificados e priorizados os equipamentos de maior criticidade para a operação, a partir disso são determinadas as atividades que podem ser realizadas para cada tipo de ativo e assim os operadores de manutenção recebem os pedidos para realização das ações. No entanto ao longo do tempo, quando surgem novas ações de manutenção sejam elas corretivas ou preventivas é necessário que o executor da manutenção possa identificar quais atividades devem ser priorizadas, dado que a cada dia surgem novas demandas.

Geralmente a priorização das atividades de manutenção ocorre de forma empírica e com isso surge a necessidade de identificar métodos que possam auxiliar nesse quesito, para isso o presente trabalho faz uso da abordagem multicritério para viabilizar melhores resultados e auxílio a tomada de decisão.

Esta pesquisa propõe e aplica dois modelos de decisão multicritério com objetivo de melhorar a gestão de ativos, apresentar os principais critérios envolvidos no contexto da manutenção, obter maior vantagem competitiva e melhoria do processo com a priorização adequada das atividades.

Com isso pode-se justificar o objetivo principal deste trabalho com a busca pela estruturação de um modelo que possa estar de acordo com as principais demandas e objetivos

das organizações industriais, contribuindo para a melhoria do planejamento e gestão dos ativos.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho possui como objetivo geral propor modelos multicritério de priorização de atividades de manutenção, a fim de resolver problemas relacionados à realização do gerenciamento das atividades de manutenção e com isso possibilitar uma melhor tomada de decisão dentro das organizações contribuindo para um melhor gerenciamento dos ativos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar as principais metodologias utilizadas na priorização de atividades de manutenção;
- Identificar critérios genéricos que se adequem as diversas organizações;
- Estruturar e aplicar os modelos de priorização propostos.
- Identificar as atividades de manutenção que devem ser priorizadas com a aplicação dos modelos;

1.3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Grande parte das organizações não dispõem ou não utilizam processos de priorização de suas ações de manutenção, e quando fazem, ocorre apenas por meio de conhecimento subjetivo. Dessa forma as priorizações são realizadas de forma não estruturada e apenas com base nas experiências dos envolvidos no contexto da manutenção.

Quando um processo é realizado de forma completamente intuitiva a probabilidade de ocorrência de erros é aumentada, com isso o processo irá apresentar variações e resultados que não representam a real situação das necessidades de priorização. Assim, torna-se necessário o auxílio a tomada de decisão para a gestão de ativos e então priorização das

atividades de manutenção (ANDRUSCA *et al.*, 2012). A utilização de um modelo multicritério possibilita uma melhor estruturação e visualização dos aspectos envolvidos no processo, otimizando o processo e auxiliando de forma mais efetiva na tomada de decisão.

Uma organização que não adota um processo ou modelo de priorização de atividades possui maiores chances de ter um modelo falho de gestão dos ativos, de modo que máquinas e equipamentos que podem vir a apresentar danos devido à não execução de atividades de manutenção que apresentam alta criticidade ao processo. Isso ocasiona perdas no processo e elevação dos custos (WING; MOHAMMED; ABDULLAH, 2016).

A falta de planejamento em relação as ações de manutenção, não pode ser negligenciada nos tempos atuais, principalmente em grandes organizações que possuem uma alta demanda de processos e atividades e que necessitam de uma gestão de ativos consolidada.

A partir disso o presente trabalho busca abordar a problemática de priorização das atividades de manutenção com o apoio a decisão multicritério.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Como afirma Fachin (2005), a realização de uma revisão de literatura é primordial para que possam ser coletados estudos que possam servir de direcionamento para a pesquisa. De acordo com Marconi e Lakatos (1985) esta pesquisa pode ser considerada qualitativa uma vez que apresenta caráter exploratório buscando compreender aspectos principais ao estudo e quantitativa devido necessidade de explorar o modelo a ser proposto.

Como etapa inicial desta pesquisa foi realizada uma pesquisa bibliográfica preliminar, deste modo, foram estudados os assuntos de maior relevância e interesse para compor o escopo da pesquisa. Os assuntos principais reunidos para compor a revisão de literatura foram: atividades de manutenção, gestão de ativos e priorização de atividades de manutenção. Foi realizado um estudo com relação aos principais métodos e metodologias utilizados para a priorização de atividades de manutenção.

Para esta pesquisa foi utilizada a abordagem multicritério com intuito de encontrar formas de tratar o problema de priorização de atividades de manutenção e encontrar uma melhor solução para uma tomada de decisão mais assertiva.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos destacados a seguir:

O primeiro capítulo contém a introdução, justificativa e relevância, objetivos gerais e específicos e descrição do problema. O capítulo apresenta a contextualização e razões para realização do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a base conceitual do trabalho. São abordados de forma detalhada os conceitos e aspectos relacionados ao contexto da manutenção, gestão de ativos e decisão multicritério.

O terceiro capítulo aborda a revisão de literatura que apresenta o estado da arte com relação especificamente a questão da priorização de atividades dentro do contexto da manutenção.

O quarto capítulo apresenta a estruturação dos dois modelos multicritério propostos por este trabalho e bem como os resultados obtidos com a aplicação dos dois modelos propostos.

O quinto capítulo por fim apresenta as conclusões e considerações obtidas com a realização deste trabalho.

2 BASE CONCEITUAL

Esta seção tem por finalidade apresentar os estudos conceituais nos quais o estudo se baseia, são abordados alguns tópicos relacionados ao contexto da manutenção como: conceitos sobre manutenção, atividades de manutenção, gestão de ativos. São abordados ainda conceitos principais em relação a análise e decisão multicritério e métodos multicritério considerados nesta pesquisa.

2.1 MANUTENÇÃO

Segundo Kardec e Nascif (2009, p.23) a definição de manutenção pode ser entendida como “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”.

De acordo com Pintelon e Gelders (1992, p.301) a manutenção industrial pode ser definida como "todas as atividades necessárias para restaurar o equipamento ou para mantê-lo em uma condição operacional especificada".

A manutenção possui como objetivo manter o equipamento em condições operacionais pelo maior tempo disponível mantendo uma qualidade adequada ao menor custo possível (PINTELO; GELDERS, 1992).

Para que um ativo funcione de forma adequada é necessário que sejam observados alguns requisitos principais, como a garantia da qualidade das operações, manutenções e atividades que possam vir a ocasionar mudanças no desempenho do equipamento ou componente (CAVALCANTE, 2005).

As atividades no contexto de manutenção podem ser aplicadas nos mais diversos tipos de setores, em alguns setores específicos tem se tornado altamente essencial, podendo citar como exemplo o setor da saúde onde uma manutenção realizada de forma não efetiva poderá ocasionar consequências sérias ou até fatais, atribuindo assim uma importância fundamental a prática da manutenção (CAVALCANTE, 2005). No setor de energia os riscos decorrentes de alguma falha podem levar a lesões graves e perda total de equipamento, com isso devem ser levados em consideração aspectos técnicos, sociais e econômicos. Dessa forma é fundamental manter a manutenibilidade dos equipamentos elétricos e gestão de distribuição da energia principalmente por características e condições de funcionamento desse setor (ANDRUSCA *et al.*, 2012).

Quando uma organização decide adotar práticas de manutenção da forma correta é necessário que a empresa possua um determinado nível de organização em relação a gestão, uma vez que existirá uma demanda de integração de pessoas, equipamentos, políticas e recursos. Outros aspectos importantes são a engenharia, presença de tecnologia e habilidades técnicas a fim de obter o melhor plano de manutenção que a organização poderá demandar (PINTELO; GELDERS, 1992).

Por mais difundida que sejam as práticas de manutenção, para alguns ainda existe a imagem de que a manutenção é algo "bruto" realizada apenas quando há a necessidade de reparos em equipamentos (CAVALCANTE, 2005). Diversas organizações ainda apresentam uma certa resistência em relação as práticas de manutenção, essas organizações geralmente enxergam somente os custos incorridos com a manutenção e não visualizam os benefícios a curto e longo prazo que podem obter (CHEW *et. al*, 2004). Com a realização de ações de manutenção quando necessário e no momento oportuno, podem ser evitadas manutenções desnecessárias e ocorrência de falhas (SOBRAL; SOARES, 2016).

2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

Ao longo do tempo as atividades de manutenção passaram por algumas modificações, essas mudanças então ficaram conhecidas como as gerações da manutenção, de modo a observar a evolução da manutenção no decorrer do tempo.

De acordo com Kardec e Nascif (2009) a manutenção pode ser dividida em quatro gerações, apresentadas a seguir.

2.2.1 Primeira geração

A Primeira Geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados. Ainda de acordo com os autores no período da primeira geração não existia nenhum tipo de preocupação relacionado a prática da manutenção, onde o operador necessitava apenas executar as atividades de funcionamento da máquina ou equipamento havendo apenas o conserto após a quebra ou a falha, dessa forma a manutenção era totalmente corretiva.

2.2.2 Segunda geração

Os autores defendem que a segunda geração surge no período pós-guerra aproximadamente na década de 60, houve o surgimento de maiores instalações industriais e

mecanização visando reestabelecer os países e a economia. Dessa forma a manutenção se tornou algo praticado em maior escala devido a necessidade de se ter maior produtividade e funcionamento dos equipamentos adequadamente, buscando evitar defeitos ou falhas, a partir desta prática surgiu o conceito de manutenção preventiva.

2.2.3 Terceira geração

Na terceira geração os autores afirmam que a manutenção passa a ter uma maior importância devido ao crescimento da automação e sistemas de computadores, pois o aumento da automação sem a devida manutenção pode afetar sistemas e equipamentos de controle de funcionamento essencial ocasionando perdas. Nesta geração surge o conceito e utilização da manutenção preditiva, desenvolvimento de *softwares* que pudessem auxiliar na manutenção, busca da prática da manutenção centrada na confiabilidade. Porém ainda existia a falta de interação entre as áreas envolvidas no processo de manutenção.

O crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que a confiabilidade e disponibilidade se tornaram postos-chave em setores tão distintos quanto saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.2.4 Quarta geração

Na quarta geração persiste a permanência da busca pela confiabilidade, ocorre com maior intensidade a realização da manutenção preditiva, que busca analisar as possíveis falhas através do monitoramento dos equipamentos, procurando aumentar a disponibilidade e confiabilidade. Desse modo deixando um pouco de lado a manutenção preventiva onde são necessárias paradas para realizar a manutenção ocasionando perdas e ociosidade do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os autores Kardec e Nascif (2009) afirmam que para que possa ser estabelecido uma política de manutenção antes torna-se necessário estabelecer estratégias e alguns fatores importantes devem ser considerados, são eles: especificações do fabricante, segurança, características do equipamento e custo de manutenção.

Kardec e Nascif (2009) definem a existência de seis tipos de manutenção, os autores afirmam que os tipos de manutenção são divididos em: manutenção corretiva não planejada, manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção

detectiva e engenharia de manutenção. Lafraia (2001), considera os tipos de manutenção de uma forma geral em apenas duas categorias a corretiva e preventiva.

É possível observar que não existe um padrão ou uma determinação fixa em relação aos tipos de manutenção, podendo assim haver variações de acordo com a definição de cada autor. Apesar da abrangência em relação aos tipos de manutenção o objetivo final converge para o mesmo sentido, onde permanece o interesse em possibilitar o pleno funcionamento dos equipamentos e o tipo de manutenção a ser aplicada será determinada de acordo com as características dos sistemas em questão.

2.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva possui o intuito de retornar o estado de funcionamento do equipamento, após a ocorrência de uma falha (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009). Quando as ações de manutenção são realizadas apenas de forma emergencial, o sistema consequentemente opera com uma redução da sua eficiência. (CAVALCANTE, 2005). A manutenção corretiva geralmente é realizada sem definições ou planejamento e deve ser executada de forma imediata a fim de evitar maiores danos ao equipamento (VIANA, 2002).

2.3.2 Manutenção preventiva

Este tipo de manutenção exige um bom planejamento e organização pela equipe de manutenção e operadores para que seja executada de maneira adequada. São realizadas paradas programadas, assegurando o funcionamento do equipamento por um período pré-determinado, evitando que venha acontecer problemas inesperados na máquina ou equipamento buscando não afetar a produção (NEWBROUGH, 1967).

Para a realização da manutenção preventiva devem ser verificadas questões como características do equipamento e forma de funcionamento do setor (KARDEC; NASCIF, 2009). Com a realização da coleta dos dados ao longo do tempo possivelmente a condição do equipamento poderá variar. A partir disso com a obtenção de informações de previsão do comportamento dos ativos é possível assim estabelecer ações preventivas (SOBRAL; SOARES, 2016).

Para que possa ser realizada a manutenção preventiva o equipamento deve estar em suas condições operacionais, com objetivo de reduzir a probabilidade de que ocorra uma falha e manter o funcionamento adequado do equipamento (VIANA, 2002).

A aplicação da manutenção preventiva diminui a necessidade de investimentos com altos custos devido a existência de equipamentos em espera (PINTELON; GELDERS, 1992).

Este tipo de manutenção é importante, pois uma simples parada programada pode evitar a paralisação inesperada de uma linha de produção.

Ao executar a manutenção preventiva o nível de eficiência dos operadores de manutenção aumenta, devido ao planejamento e maior controle das atividades a serem realizadas, isso reduz a possibilidade de ocorrer imprevistos (VIANA, 2002). As estratégias de manutenção preventiva quando executadas de forma adequada possibilitam de forma efetiva a minimização dos custos e redução das falhas além de aumentar a qualidade das atividades de manutenção, em contrapartida uma manutenção ineficiente consequentemente resulta em maiores custos de manutenção (USHER *et al.*, 1998).

O equilíbrio ao realizar as atividades de manutenção deve ser exercido, uma vez que, a atuação exagerada de intervenções de manutenções preventivas ocasiona elevados custos e perda de capacidade, e por um outro lado a deficiência da manutenção preventiva poderá elevar ainda mais os custos devido a falhas recorrentes (PINTELO; GELDERS, 1992).

Na manutenção preventiva existe o acompanhamento de forma sistematizada do equipamento, nesse tipo de manutenção é primordial se ter conhecimento do histórico do equipamento para que possa ser feito um plano de manutenção periódica com intervalos determinados de acordo com as características de funcionamento e uso do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.3.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é um tipo de manutenção baseada no diagnóstico do equipamento a partir da sua condição, que por sua vez permite reduzir o custo e tempo de manutenção (JI *et al.*, 2017). Possui o intuito de prever falhas que possam ocorrer através de acompanhamentos ao equipamento com a realização de monitoramentos e medições, e com isso prolongar a vida útil do equipamento (VIANA, 2002). A manutenção preditiva consiste em buscar prevenir falhas através do monitoramento do sistema. Na manutenção preditiva duas fases importantes podem ser citadas, a fase estratégica e a fase de análise de dados.

O monitoramento dos equipamentos é feito através de aparelhos para medir a performance e desempenho. A manutenção preditiva por ser uma manutenção que apresenta menor intervenção ao funcionamento do equipamento possibilita melhores resultados (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para a aplicação da manutenção preditiva geralmente são necessários investimentos elevados em máquinas, sensores, servidores, dentre outros. É importante destacar que a

obtenção e interpretação correta dos dados são aspectos cruciais para que a manutenção preditiva seja efetiva (JI *et al.*, 2017).

Através dos equipamentos de monitoramento e medição específicos são avaliadas condições de vibração, temperatura, ruído, poluição, dentre outros (VIANA, 2002). Por necessitar de sistemas automatizados e equipamentos específicos a manutenção preditiva apresenta custo bastante elevado e antes de ser utilizada é importante que a organização tenha subsídios e recursos suficientes para a implementação. Devido ao elevado custo de implementação de ações preditivas torna -se evidente a necessidade de avaliar aspectos estratégicos e impactos dessas ações. Com isso é essencial determinar qual melhor estratégia de manutenção apropriada para um dado equipamento e definir qual componente deverá ser priorizado com as ações preditivas.

2.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Aproximadamente na década de setenta as organizações identificaram que a engenharia por si só não era capaz de suprir as necessidades dos departamentos de manutenção e que não poderia ser considerada de forma isolada de outras funções de negócio, a partir disso surgiu o conceito de gestão da manutenção (PINTELON; GELDERS, 1992). A gestão da manutenção atribui uma contribuição de valor para a organização através dos ativos, permitindo o estabelecimento das estratégias da organização (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013).

A gestão da manutenção apesar de ser importante, ainda é negligenciada em relação a sua função para o negócio. É necessário que se tenha um direcionamento para o gerenciamento da manutenção no contexto do negócio (PINTELON; GELDERS, 1992).

Segundo Rijn (1987) a gestão da manutenção deve conter alguns elementos importantes, são eles:

- Estabelecer capacidade e volume de produção necessários para garantir a disponibilidade dos equipamentos, processos e instalações;
- Gestão dos custos fixos (manutenção da força de trabalho é um custo fixo importante);
- Gestão do custo operacional (levar em consideração custos com peças sobressalentes, serviços externos e contratados);
- Segurança ambiental e segurança dos funcionários, garantir que o equipamento não agrida o meio ambiente e seja seguro para o operador.

A manutenção deve buscar sempre a melhoria contínua e não tão somente a correção de problemas. Para que uma organização tenha o interesse pela busca pela melhoria contínua é necessário que sejam utilizadas algumas técnicas e planejamento adequado que sejam condizentes com os objetivos e estrutura da organização (VIANA, 2002).

Com aumento exponencial da competitividade entre as organizações se faz necessário o gerenciamento da manutenção de forma efetiva buscando a permanência no mercado ao menor custo possível (PINTELO; GELDERS, 1992). O setor de manutenção precisa gerenciar de forma adequada as ações de manutenção de forma a definir como devem ocorrer as prioridades preventivas ou corretivas. (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020).

O planejamento da manutenção pode ser direcionado de acordo com o período do ciclo de vida do ativo, uma vez que, em alguns casos o custo de reparo será superior ao de deixar que o ativo se deteriore. Ao longo do tempo de vida do ativo o planejamento da manutenção passa por alguns ciclos de intervenções onde serão analisadas quais ações devem ser tomadas (ZHANG; MARSH, 2021). A idade e condições do equipamento são uma das variáveis dominantes no processo de planejamento da manutenção (WING; MOHAMMED; ABDULLAH, 2016).

No ambiente industrial é importante o planejamento quanto a execução das atividades de manutenção, uma vez que o planejamento equivocado poderá levar a priorização de atividade menos críticas impactando de forma negativa a produção (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020).

Quando a gestão da manutenção não recebe o foco necessário podem surgir problemas de comunicação com a equipe de manutenção, operação e alta administração, portanto a estratégia de ativos deve interagir com a estratégia de negócios (HASTINGS, 2015).

É possível observar a importância do planejamento da manutenção, de modo a possibilitar a viabilidade de melhores ações e intervenções de manutenção, considerando os objetivos a serem alcançados e da condição do ativo observando o seu ciclo de vida (ZHANG; MARSH, 2021). O planejamento da manutenção é apenas uma das etapas no gerenciamento de ativos ao longo do seu ciclo de vida (OUERTANI; PARLIKAD; MCFARLANE, 2008).

2.5 GESTÃO DE ATIVOS

A definição de gestão de ativos possui um amplo escopo abrangendo diversas áreas, incluindo administração, operações, produção, aspectos financeiros e capital humano. Sua

definição mais difundida compreende a investigação dos ativos físicos (AMADI-ECHENDU, 2010).

O objetivo da gestão de ativos é possibilitar que as organizações possam ter os ativos necessários em pleno funcionamento de forma a atender as demandas de acordo com as necessidades da organização para que assim possam operar com maior eficácia, permitindo obter valor dos seus ativos (HASTINGS, 2015).

O gerenciamento dos ativos contribui para a estratégia competitiva da organização. A gestão de ativos compreende a realização de um conjunto de atividades (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013), e deve incorporar uma combinação entre conhecimento técnico e conhecimento de negócios a fim de atender as necessidades das organizações quanto a gestão de ativos de forma eficiente (HASTINGS, 2015).

Os autores Andrusca *et al.* (2012) defendem que a gestão de ativos pode ser entendida como uma forma de administrar os ativos, se tornando um processo contínuo de decisão em relação as atividades a serem realizadas e com isso possibilitar a redução de custos e aumento da lucratividade. O ativo passa a ser inserido no processo de gestão para que possa existir a criação de valor (HASTINGS, 2015).

Os autores Ouertani *et al.* (2008) classificam duas perspectivas a qual o ativo poderá ser avaliado, são elas:

- Perspectiva financeira: Possui foco na redução de custos e valor financeiro do ativo, busca conseguir melhor desempenho e confiabilidade para aumento da satisfação do cliente.
- Perspectiva de engenharia: Está relacionada a informação e a tomada de decisão. A informação diz respeito ao acompanhamento e monitoramento do ativo ao longo do seu tempo de vida útil. A tomada de decisão concerne com a realização de análises para apoio aos decisores em relação a manutenção dos ativos e ações a serem desempenhadas ao longo do ciclo de vida do ativo, auxiliando no processo de tomada de decisão.

Hastings (2015) assume que a gestão de ativos pode ser entendida como um conjunto de atividades realizadas a fim de atender os objetivos desejados, essas atividades estão a relacionadas a:

- Identificação dos ativos necessários;
- Identificação dos requisitos financeiros;

- Adquirir ativos;
- Fornecimento de um suporte de logística e manutenção;
- Descarte e renovação;

O aumento da complexidade dos sistemas e divisão em pequenos setores contribuiu para a necessidade de gerenciamento dos ativos nas organizações (HASTINGS, 2015). O gerenciamento do ciclo de vida de um ativo está relacionado com o objetivo de gestão da organização (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013).

O monitoramento da condição do ativo pode ser uma estratégia utilizada para compreender quais ações devem ser realizadas antes que ocorra uma falha. Obter informações precisas de funcionamento de um ativo pode ser bastante dificultoso devido as características do equipamento ou outros fatores, em consequência disso a falha ocorre de forma repentina (SOBRAL; SOARES, 2016).

Ouertani *et al.* (2008) propõem uma abordagem para que os decisores possam estabelecer uma estratégia de gerenciamento de informações de ativos AIM (*Asset Information Management*) identificando quais os requisitos de informação para conseguir uma gestão efetiva.

2.5.1 Ciclo de vida dos ativos

A gestão de ativos envolve o conjunto de algumas etapas como: avaliação, aquisição, e suporte ao longo do tempo de vida do ativo (HASTINGS, 2015). Ao estimar o tempo de funcionamento do ativo é possível estabelecer quais ativos possuem maior prioridade em relação as inspeções e ações de manutenção (ZHANG; MARSH, 2021).

O monitoramento da idade e condição dos ativos é importante para a obtenção do aumento da confiabilidade (HASTINGS, 2015). O primeiro passo do ciclo de vida de um equipamento inicia com a sua instalação seguindo as recomendações do fabricante (SOBRAL; SOARES, 2016). Os ativos apresentam uma condição de funcionamento e ao longo do ciclo de vida a sua condição de funcionamento diminui gradualmente, onde passam pelo processo de deterioração (ZHANG; MARSH, 2021).

As organizações estruturam esses estágios através da divisão em departamentos para um melhor gerenciamento e tomada de decisão. Dessa forma o processo de realização do projeto, aquisição, manutenção e descarte são facilitados (EL-AKRUTI; DWIGHT, 2013).

Segundo Ouertani *et al.* (2008) o ciclo de vida de um ativo pode ser dividido em quatro estágios distintos, são eles:

- Estágio de aquisição: envolve atividades de análise financeira e técnica bem como o planejamento e justificativas para aquisição dos novos ativos.
- Estágio de implantação: atividades de instalação, realização de testes e comissionamento.
- Estágio de operação: todas as atividades que estão associadas a uma manutenção eficaz da disponibilidade, qualidade, desempenho, capacidade e longevidade dos ativos.
- Estágio de retirada/aposentadoria: Compreende as atividades envolvidas na alienação dos ativos.

Como pode ser observado a partir dos estágios definidos por Ouertani *et al.* (2008), é possível identificar que o estágio de operação compreende todas as atividades relacionadas as ações de manutenção. Com isso todos os esforços, políticas e ações de manutenção são desenvolvidas nesse estágio do ciclo de vida do ativo. Vale destacar que as atividades de manutenção podem ser priorizadas nos estágios de implantação, operação e retirada.

São aplicados conhecimentos técnicos e financeiros incorporados à boas práticas para alcançar os objetivos do negócio mantendo os ativos em seu melhor estado até o final do seu ciclo de vida, conhecido como descarte (HASTINGS, 2015).

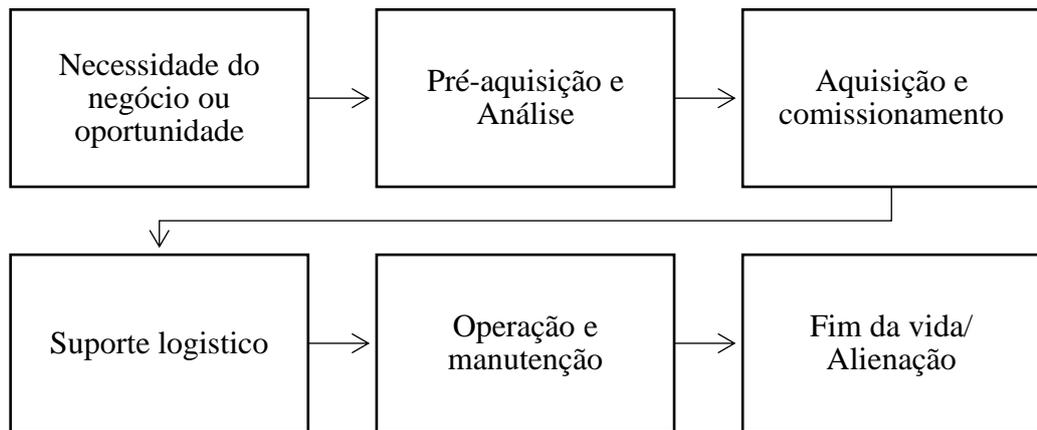
Em um outro trabalho desenvolvido por Ouertani *et al.* (2008) os autores dividem o ciclo de vida dos ativos em três processos que são interdependentes.

1. Início da vida (BOL): está relacionado ao design e fabricação do ativo;
2. Meio de vida (MOL): quando o ativo passa a ser utilizado desempenhando as funções a qual foi designado. Este processo compreende também a solicitação de serviços de manutenção;
3. Fim da vida (EOL): compreende o processo de retirada de operação do ativo, quando ocorre a sua alienação;

Ouertani *et al.* (2008) destacam que o monitoramento e acompanhamento de informações ao longo do ciclo de vida dos ativos possibilita o gerenciamento desses processos garantindo a gestão eficaz dos ativos. Pode-se então conhecer que a manutenção é apenas uma das variáveis na gestão de ativos, com isso a manutenção é tida como uma das atividades desempenhadas ao longo do ciclo de vida do ativo (HASTINGS, 2015).

O autor Hastings (2015) apresenta uma representação de como se dá a sequência do ciclo de vida de um ativo, como pode ser visualizado abaixo:

Figura 1 - Ciclo de vida de um ativo

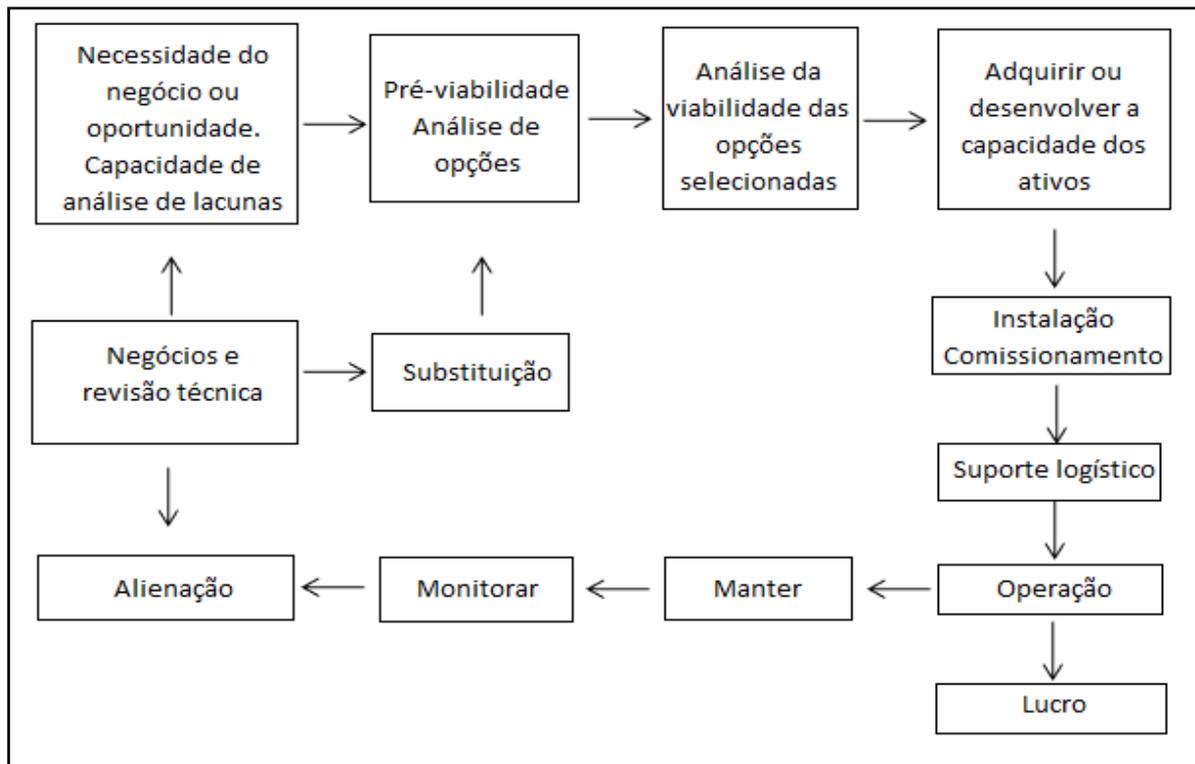


Fonte: Adaptado de Hastings (2015)

A figura 1 ilustra de forma clara o processo em relação ao ciclo de vida do ativo. Onde o autor define como primeira etapa do ciclo a partir da existência de uma necessidade da organização, que pode ser caracterizada como o objetivo e criação de oportunidade, a segunda etapa compreende a análise inicial seguido pela aquisição dos ativos, posteriormente a etapa de suporte logístico é inserida para dar início as atividades de operação e manutenção. Nesta etapa são realizadas as ações de manutenção. O ciclo encerra com a etapa de alienação do ativo.

O autor Hastings (2015) apresenta ainda uma estrutura de maior abrangência ao relacionar as atividades de gestão desenvolvidas com o ciclo de vida dos ativos ao longo do seu tempo de vida útil, como pode ser observado a seguir:

Figura 2 – Ciclo de vida do ativo considerando atividades de gestão



Fonte: Hastings (2015)

Na figura 2 o autor apresenta uma abordagem detalhada do ciclo de vida do ativo inserindo as atividades de gestão desenvolvidas. As etapas de manter e monitorar estão diretamente relacionadas a práticas de manutenção onde devem ser estabelecidas estratégias e políticas para adequado funcionamento dos ativos.

Os registros históricos obtidos com a realização de inspeções podem ser um recurso importante para a realização da modelagem do processo de deterioração de um dado ativo, isso ocorre pela obtenção de informações desses dados históricos em relação a condição do ativo ao longo do tempo. Dessa forma é possível realizar uma estimativa e identificar em quanto tempo o ativo perderá sua condição de pleno funcionamento (ZHANG; MARSH, 2021).

Existe uma dificuldade em relação a obtenção e utilização dos dados no contexto das operações de manutenção, de modo que na maioria das vezes esses dados são imprecisos ou insuficientes e acabam não representando fielmente a realidade da organização. Os dados são de extrema importância para que possa ser realizada a tomada de decisão de forma assertiva e coincidir com os objetivos da organização (KHANLARI; MOHAMMADI; SOHRABI, 2008).

Para tornar possível maximizar o tempo de vida do ativo e obter uma tomada de decisão eficaz é necessário conhecer aspectos de design, confiabilidade, condições ambientais, condições de risco e localização dos ativos (OUERTANI; PARLIKAD; MCFARLANE, 2008).

2.6 DECISÃO MULTICRITÉRIO

Pode-se considerar um problema de decisão multicritério quando existem algumas alternativas a serem analisadas e a presença de múltiplos objetivos que geralmente são conflitantes entre si (DE ALMEIDA, 2013). Os gestores diariamente enfrentam situações em que necessitam tomar algum tipo de decisão buscando avaliar as opções existentes da melhor forma possível para uma tomada de decisão rápida e efetiva, porém essas decisões dependem de alguns fatores e objetivos que podem ser conflitantes entre si, para atingir esses objetivos da melhor forma possível podem ser determinados critérios que estejam de acordo com a necessidade da organização.

Habitualmente em diversas organizações as decisões são tomadas de forma subjetiva. Levando em consideração essa questão surge a preocupação de como decisões tomadas, dessa forma podem impactar no sucesso de organização. A utilização de métodos de apoio a decisão surgem como uma alternativa para a fundamentação das decisões.

Em um problema de decisão multicritério tem-se a presença de um ou mais decisores, este por sua vez irá estabelecer suas preferências com base nas características do problema. Em alguns casos além da existência do decisor podem existir outros atores envolvidos que de alguma forma influenciam no processo de decisão. Alguns atores comuns são o analista e especialista (DE ALMEIDA, 2013).

Existem diversos métodos para a resolução de um problema multicritério. De acordo com Roy (1996), Vincke (1992) e Pardalos *et al.* (1995) existem os tipos principais de métodos (métodos de critério único de síntese, métodos de sobreclassificação e métodos interativos). Cada tipo irá abranger diferentes problemas de decisão de acordo com suas características.

O autor De Almeida (2013) apresenta destaque para uma classificação em relação aos métodos multicritério. Apresentando os métodos compensatórios onde existe a ideia de Tradeoff entre os critérios e métodos não compensatórios onde não se admite Tradeoff entre os critérios. No primeiro caso os pesos tem significado de constantes de escala, no segundo caso os pesos representam de fato a importância dos critérios.

Considerando o contexto da manutenção, os operadores diariamente necessitam tomar decisões quanto as atividades a serem executadas e precisam levar em consideração alguns fatores importantes, para isso um modelo de decisão multicritério poderá ser útil para a melhor tomada de decisão.

Para este trabalho serão apresentados dois modelos multicritério, para cada modelo serão apresentados a estruturação para sua construção e aplicação. Nas duas seções a seguir são apresentados os métodos que foram considerados para a aplicação. O modelo inicial possui a proposta de priorização de atividades corretivas, de forma a obter um *ranking*. O segundo modelo busca obter um portfólio ótimo contendo as atividades preventivas e corretivas de forma priorizada.

A seguir é apresentada uma introdução aos métodos utilizados em cada um dos modelos propostos.

2.6.1 Método de elicitación flexível FITradeoff

O FITradeoff (*Flexible Interactive Tradeoff*), é um método multicritério de elicitación flexível e interativa proposto por de Almeida *et al.* (2016). O método apresenta uma vantagem quando comparado a procedimentos de elicitación que exigem informação completa. De modo que a elicitación das constantes de escala é realizada de forma interativa e exige apenas informação parcial junto ao decisor, apresentando uma expectativa da redução da taxa de inconsistências. (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

O FITradeoff é um método multicritério para a elicitación de constantes de escala baseados na preferência de um decisor, a aplicação do método é realizada através de um SAD (Sistema de Apoio a Decisão). O *software* pode ser obtido através do endereço (<http://fitradeoff.org/>).

O FITradeoff permite que o processo de tomada de decisão seja menos cansativo demandando um menor esforço cognitivo, atribuindo uma facilidade para o decisor durante todo o processo de elicitación e tomada de decisão (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). O método atualmente pode ser aplicado para as problemáticas de escolha (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), ordenação (FREJ *et al.*, 2019) classificação (KANG *et al.*, 2020) e portfólio (FREJ *et al.*, 2021).

Para a aplicação do modelo inicial e resolução do problema proposto para este trabalho, será utilizado o FITradeoff para a problemática de ordenação, tendo em vista que o

objetivo será realizar uma ordenação das atividades corretivas, ranqueando da mais urgente para a de menor urgência de execução.

A priorização de atividades corretivas admite uma relação de tradeoff entre os critérios estabelecidos para o problema, dessa forma pode-se aplicar a abordagem multicritério com a racionalidade compensatória. O método a ser utilizado compreende uma das etapas de estruturação de um modelo multicritério, para a escolha do método deverá ser considerado o tipo de racionalidade apresentada pelo decisor. Para o tipo de problema apresentado quanto a priorização de corretivas, um método compensatório será utilizado. Como o método FITradeoff exige apenas informação parcial do decisor, possui maior facilidade de compreensão por parte do decisor e atribui um resultado com menos inconsistências, este foi utilizado para a problemática apresentada.

2.6.2 Análise multicritério de portfólio

Um portfólio pode ser definido como um conjunto de ações, projetos programas e outras atividades com o intuito de alcançar os objetivos e metas da organização, a gestão de portfólio deve estar alinhada com a estratégia da organização (PMI, 2017a).

Um portfólio necessariamente precisa de recursos, porém no ambiente empresarial as demandas geralmente ultrapassam a capacidade de recursos disponíveis (LARSON; GRAY 2018). Devido a isso torna-se importante estabelecer um procedimento para ter um portfólio ótimo. Dessa forma pode-se inferir que a seleção de portfólio trata do problema de alocação de recursos.

O problema de portfólio pode ser aplicado em inúmeros casos, podendo citar portfólio de projetos (XAVIER *et al.*, 2009), portfólio de produtos (NETO *et al.*, 2013), portfólio de investimentos (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). A abordagem de portfólio pode ser utilizada em diversos setores como: indústria, logística, comercio e varejo (PMI, 2017a).

Para estabelecer o portfólio ótimo devem ser levados em consideração os objetivos e necessidades de cada organização. Com o resultado as decisões estratégicas são então tomadas (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002; PMI, 2017a).

A abordagem multicritério pode ser utilizada para problemas de portfólio, uma vez que pode apresentar mais de um atributo a ser considerado para o problema (VETSCHERA; DE ALMEIDA, 2012).

Para a resolução de um problema de portfólio onde uma abordagem multicritério pode ser empregada, o problema da mochila (*Knapsack Problem*) pode ser utilizado possibilitando

a otimização do portfólio (BELTON; STWART, 2002). Em 1957, Dantzing criou o problema de programação inteira ou problema da mochila. O problema apresenta um modelo de programação matemática que possui uma variável binária (0-1), uma função objetivo (1.1) e restrições são inseridas no modelo (1.2). Em um problema de portfólio a programação linear inteira é utilizada para a otimização do portfólio.

Para a modelagem de um problema de decisão para seleção de portfólio ótimo a formulação matemática pode ser dada pela estruturação a seguir:

$$Z = \text{Max} \sum_{i=1}^n b_i (x_i) \quad (1.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n C_i x_i \begin{matrix} \leq \\ = \\ \geq \end{matrix} C \quad (1.2)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Z – Representa a função objetivo de maximização;

v_i – Representa o valor de cada item da mochila;

x_i - Representa a variável binária indicando se o item pertence ao portfólio ou não;

C_i - Representa o valor da restrição;

C - Representa a capacidade total disponível de acordo com a restrição;

n – Representa o número total de itens.

Os autores Vetschera e De Almeida (2012) realizaram uma revisão de literatura com relação a utilização do apoio a decisão multicritério em problemas de portfólio. Com a revisão os autores destacam que o método de sobreclassificação PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) foi considerado como amplamente utilizado no contexto de problemas de portfólio.

Os autores Vetschera e De Almeida (2012) destacam que existem poucos trabalhos relacionados a problemas de portfólio que utilizam métodos de sobreclassificação.

O problema de seleção de portfólio pode ser considerado um dos exemplos mais típicos para esta problemática. Ao utilizar o método PROMETHEE, para a obtenção de uma

ordem completa o PROMETHEE II deve ser aplicado, como parte do PROMETHEE V o modelo de programação linear é então aplicado, utilizando a programação linear inteira binária para definir o subconjunto de alternativas que se adequam as restrições propostas (VETSCHERA; DE ALMEIDA, 2012).

2.6.3 Método PROMETHEE

Existem diversos métodos de apoio a decisão multicritério, cada método possui suas características e particularidades. Para a escolha do método devem ser analisados alguns aspectos como a problemática do problema a ser resolvido. É importante que exista uma formulação adequada do modelo para que seja selecionado o método multicritério correto (DE ALMEIDA, 2013).

O método PROMETHEE possui uma base de aplicação em duas etapas, inicialmente realiza-se a construção de uma relação de sobreclassificação (1) que é feita através de uma comparação par a par entre as alternativas. Na etapa seguinte ocorre a exploração da relação de sobreclassificação (2) (BRANS; MARESCHAL, 2002).

O PROMETHEE possibilita uma fácil compreensão pelo decisor, uma vez que requer informações claras (BRANS; MARESCHAL, 2005). Devido a aplicações bem sucedidas, consolidadas propriedades matemáticas e sua facilidade de uso o PROMETHEE tem sido utilizado em diversos contextos, indústria, investimentos, setor bancário, saúde e outros (BRANS; MARESCHAL, 2005). O método PROMETHEE é o método de sobreclassificação mais amplamente utilizado para problemas de portfólio (VETSCHERA; DE ALMEIDA, 2012).

Os decisores devem determinar os pesos dos critérios. Para isso avaliam suas prioridades, neste caso os pesos representam a importância relativa dos critérios, o critério de maior peso será o de maior importância (BRANS; MARESCHAL, 2005). A estrutura de preferências do método PROMETHEE é realizada através de uma comparação par a par entre as alternativas.

Como apresenta De Almeida (2013) de forma geral a estrutura de avaliação dos métodos PROMETHEE é construída como apresentado a seguir:

A matriz de avaliação das alternativas com relação ao conjunto de critérios deve ser elaborada. Em seguida o decisor deverá estabelecer os pesos dos critérios, estes pesos devem então ser normalizados, ocorrendo a transformação da escala de avaliação para valores

compreendidos geralmente entre (0-1). Alguns procedimentos de normalização são apresentados por de Almeida (2013).

Uma função da diferença deve ser atribuída a cada um dos critérios, a função da diferença (2.1) representa a diferença entre o desempenho de duas alternativas em um determinado critério. A partir disso se tem a formulação a seguir:

$$F_i(a, b) = g_i(a) - g_i(b) \quad (2.1)$$

Onde:

$F_i(a, b)$: função da diferença

$g_i(a)$: desempenho da alternativa a no critério i

$g_i(b)$: desempenho da alternativa b no critério i

De acordo com Brans e Mareschal (2002), a função $F_i(a, b)$ deve ser determinada de acordo com a preferência do decisor, para isso existem os autores elaboraram seis formas para representação da respectiva função. Cada tipo de função representa a escolha do decisor ao comparar as alternativas.

Com todos os pesos normalizados e a função $F_i(a, b)$ definida, o grau de sobreclassificação poderá ser determinado, o mesmo deve ser definido para cada par de alternativas.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i F_i(a, b) \quad (3.1)$$

de modo que:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (3.2)$$

Onde:

$\pi(a, b)$: grau de sobreclassificação

p_i : peso normalizado

$F_i(a, b)$: função da diferença

Após determinar o grau de sobreclassificação, são definidos dois fluxos de sobreclassificação, um fluxo de saída ($\Phi^+(a_i)$) e um fluxo de entrada ($\Phi^-(a_i)$) de uma dada alternativa a_i . A diferença entre esses dois fluxos representa o fluxo líquido $\Phi(a_i)$.

$$\Phi^+(a_i) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (4.1)$$

$$\Phi^-(a_i) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4.2)$$

Com isso a equação que estabelece o fluxo líquido é definida:

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i) \quad (4.3)$$

Em 1992, Brans e Mareschal criaram uma extensão para o PROMETHEE. O PROMETHEE V, passa então a incluir restrições para a aplicação do método. O PROMETHEE V surge como uma variante para utilização em problemas de portfólio (BRANS; MARESCHAL, 2005).

Com o PROMETHEE II são obtidos os fluxos líquidos e uma ordem completa entre as alternativas. Em seguida são então introduzidas algumas restrições no problema para as alternativas (MOUSAVI *et al.*, 2012). O PROMETHEE V compreende a utilização do PROMETHEE II combinado com um modelo de programação linear inteira 0-1.

No trabalho realizado pelos autores Vetschera e De Almeida (2012), os autores apresentam uma abordagem utilizando o método PROMETHEE V, que busca construir um portfólio ideal a partir do *ranking* obtido com a aplicação do método PROMETHEE II.

Brans e Mareschal (2002) criaram uma forma diferente para o cálculo dos fluxos, de modo que os fluxos são normalizados. A fórmula pode ser observada a seguir:

$$\Phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (4.1.1)$$

$$\Phi^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (4.2.1)$$

Retornando a equação apresentada anteriormente

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i) \quad (4.3.1)$$

Os autores Vetschera e De Almeida (2012) observaram alguns problemas de escala na aplicação do PROMETHEE V com relação a formulação para obtenção dos fluxos. Os fluxos líquidos de cada alternativa no PROMTHE II podem ser positivos ou negativos. Se tratando do PROMETHHE V a existência de fluxos negativos no modelo de programação linear acaba eliminado as alternativas com fluxos negativos (MAVROTAS *et al.*, 2006). Com intuito de não eliminar as alternativas com fluxos negativos (MAVROTAS *et al.*, 2006) apresentam uma nova formulação tornando todos os fluxos positivos.

$$\Phi'_i = \Phi_i + | \min \Phi_i | \quad (4.5)$$

Onde:

$| \min \Phi_i |$ = menor fluxo líquido

Os autores Vetschera e De Almeida (2012), no entanto, perceberam que se uma dada alternativa possui um valor de fluxo negativo, isso indica apenas que ela é sobreclassificada por outras alternativas e dessa forma não deve ser excluída do conjunto de alternativas. Os autores identificaram ainda que apesar de os fluxos estarem positivos a alternativa de menor fluxo líquido quando aplicada na formula anterior, passaria a ter valor nulo e assim não seria considerada no conjunto de alternativas. A partir disso os autores apresentam uma nova formulação onde incluem uma constante de valor pequeno ϵ na fórmula anteriormente apresentada, de modo a ser:

$$\Phi'_i = \Phi_i + | \min \Phi_i | + \epsilon \quad (4.5.1)$$

Os autores Brans e Mareschal (2005) definem duas etapas para a utilização do PROMETHEE V, como segue:

- **Etapa 1:** na primeira etapa o problema multicritério é então considerando sem as restrições. Ocorre a avaliação das alternativas a partir dos critérios determinados através da aplicação do método PROMETHEE II gerando um *ranking*. Com a obtenção dos fluxos líquidos as alternativas são ordenadas em ordem decrescente e assim obter uma pré-ordem completa das alternativas.
- **Etapa 2:** um problema de programação linear (PPL) é então introduzido com o objetivo de maximizar a soma dos fluxos líquidos determinados na primeira etapa. Para isso a função objetivo e restrições devem ser definidas.

Considerando a_i como uma dada alternativa e $\{a_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ o conjunto de alternativas existentes. Uma variável booleana x_i deve ser associada a cada alternativa a_i .

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se } a_i \text{ for selecionada} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Dessa forma o modelo de PPL deverá ser representado da seguinte forma:

$$Z = \text{Max} \sum_{i=1}^n \Phi(a_i)x_i \quad (1.1.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n r_i x_i \begin{matrix} \leq \\ = \\ \geq \end{matrix} C \quad (1.2.1)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Onde:

Z – Representa a função objetivo de maximização;

$\Phi(a_i)$ - Representa o fluxo líquido de cada alternativa i;

x_i - Representa a variável binária indicando se uma alternativa pertence ao portfólio ou não;

r_i - Representa o valor da restrição;

C - Representa a capacidade total disponível de acordo com a restrição;

n – Representa o número total de alternativas.

Este capítulo abordou de forma geral os aspectos conceituais da pesquisa, bem como os métodos que foram utilizados em cada um dos modelos propostos. No capítulo seguinte será apresentada a revisão de literatura, trazendo a contribuição de trabalhos considerados relevantes para este trabalho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta o levantamento de trabalhos relacionados a priorização de atividades de manutenção e bem como o posicionamento quanto ao que foi encontrado na literatura referente a esse contexto.

3.1 PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Algumas empresas enfrentam dificuldades para realizar a priorização das atividades de manutenção, os recursos que são em grande parte limitados dificultam o processo de gestão da priorização das atividades de manutenção (WING; MOHAMMED; ABDULLAH, 2016).

De acordo com Wing, Mohammed e Abdulah (2016) quando não existe uma priorização adequada dos recursos a manutenção consequentemente será não programada ocorrendo maior indisponibilidade do sistema e aumento de despesas. A priorização das atividades de manutenção fornece o direcionamento para o planejamento das ações necessárias (DEIGHTON, 2016).

Em um estudo realizado por Wing, Mohammed e Abdulah (2016) constatou-se que dos 66 artigos analisados foram encontrados alguns fatores principais considerados para a definição da priorização das atividades de manutenção de acordo com o número de publicações, é possível citar como principais a avaliação de condição, custos de manutenção (diretos ou indiretos), ocorrência, severidade e importância de utilização. Os autores dividem os fatores em quatro categorias distintas (Técnico, Financeiro, Social e Político) a fim de melhor identificá-los. No estudo observou-se que os elementos que se encontram em um estado com maior criticidade devem ter uma maior priorização em relação aos que se encontram em um bom estado.

Nesse estudo através de uma revisão sistemática de trabalhos de 1990 a 2015 foram encontrados os principais modelos e estruturas usadas para estabelecer a priorização das atividades de manutenção, como resultado foi obtido que a medição com base no AHP obteve o maior número de publicações seguido pelo critério de priorização e em seguida a medição baseada na matriz.

De acordo com Wing, Mohammed e Abdulah (2016) a priorização das atividades de manutenção tem início a partir da alta gerência onde são definidos os objetivos e metas da organização. É importante garantir o conhecimento por parte dos níveis inferiores e partir do que foi definido na alta gestão. Com isso é necessário que se tenha o conhecimento adequado

da organização para que obter um melhor direcionamento e poder estabelecer as atividades de manutenção com a priorização adequada.

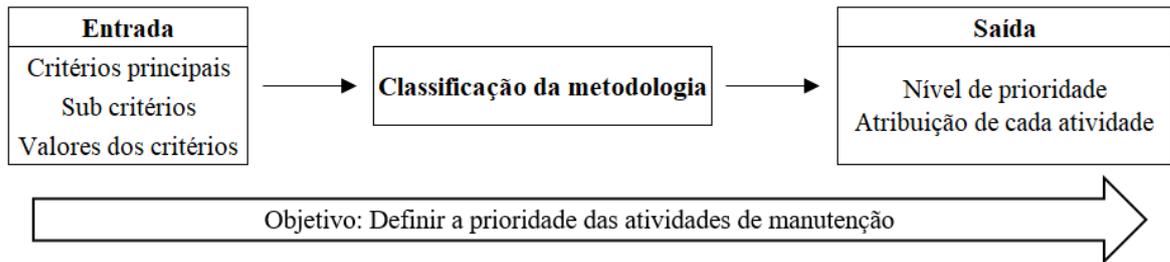
Os autores Kardec e Nascif (2009) em seu livro utilizam a matriz de criticidade para representar uma forma de priorização das atividades de intervenção a serem executadas. A matriz de prioridade realiza a combinação entre criticidade do equipamento e o nível de urgência de execução da atividade. Com isso a importância de cada equipamento é avaliada e assim o nível de criticidade é identificado, que varia em uma escala de baixa, média ou alta.

Os autores Andrusca *et al.* (2012), realizaram um estudo para a priorização das atividades de manutenção em uma empresa de eletricidade. Para realização da priorização foi utilizada uma abordagem multicritério, com o objetivo de elevar a segurança de operação da rede de transmissão elétrica e dessa forma evitar danos a rede, população e meio ambiente. Os autores realizaram uma análise a partir de dois critérios, foram eles: condição técnica do equipamento que determina o estado de funcionamento do equipamento e importância do equipamento elétrico para a subestação de modo a definir o nível de hierarquia do equipamento (consequências de falhas) que irá determinar a importância do equipamento para o sistema de potência.

No estudo realizado por Moore e Starr (2006) os autores utilizam um sistema de manutenção, onde atribuem o conceito de alarmes que são acionados com base na condição do equipamento. As atividades de manutenção são priorizadas no momento em que uma grande quantidade de alarmes são acionados. Os autores introduzem a criticidade baseada no custo para realizar a priorização das atividades de manutenção com base na capacidade do equipamento em afetar a lucratividade da organização.

Os autores Lopes e Figueiredo (2020) a partir de um estudo aplicado em uma multinacional automobilística desenvolveram um método para priorização de atividades de manutenção preventiva e corretiva. Para isso os autores atribuíram um conjunto de critérios e sub critérios com o intuito de obter a criticidade de cada equipamento. A partir disso os autores desenvolveram um processo para a priorização de atividades de manutenção, como pode ser visualizado a seguir.

Figura 3 – Processo de priorização de atividades



Fonte: Lopes e Figueiredo (2020)

Como pode ser observado na Figura 3 os autores dividem o processo de priorização de atividades de manutenção em três etapas: etapa de entrada que compreende a seleção dos critérios, etapa de classificação da metodologia que está relacionado a forma que será abordada a priorização e posteriormente a etapa de saída onde ocorre a priorização das atividades.

Os autores Li e Ni (2009) identificaram na literatura algumas limitações quando se trata da priorização de tarefas de manutenção, são elas:

1. Grande maioria dos trabalhos consideram apenas problemas de atividades de longo prazo e outras questões de curto prazo são ignoradas;
2. Não existe uma clareza entre o sistema de produção e ordens de serviço de manutenção;
3. Decisões são tomadas de forma subjetiva.

Os autores Senra, Lopes e Oliveira (2017), construíram uma espécie de framework utilizado para a priorização das atividades de manutenção.

1. Inicialmente os equipamentos com maior taxa de utilização são priorizados. As atividades são ordenadas por um índice de criticidade do equipamento (BIR) que avalia o impacto da quebra do equipamento na produtividade utilizando o critério de utilização do equipamento e disponibilidade de equipamentos alternativos;
2. Com o valor do BIR uma segunda classificação é realizada a partir da data de vencimento da tarefa;
3. Tarefas são atribuídas;
4. Tarefas com o mesmo BIR e data de vencimento são classificadas pelo seu tempo de processamento em ordem decrescente obtendo a priorização das atividades;
5. Uma tabela de tarefas de manutenções priorizadas fica disponível no CMMS (Computerized Maintenance Management System).

O processo de alocação de atividades para priorização considera a disponibilidade do equipamento, peças de reposição necessárias e técnicos disponíveis. A disponibilidade do equipamento irá mostrar se existe algum equipamento na linha de produção capaz de desempenhar a função do equipamento avaliado (SENRA; LOPES; OLIVEIRA, 2017).

Os autores Gopalakrishnan, Subramaniyan e Skoogh (2020) através de uma revisão de literatura conseguiram identificar que as decisões de manutenção são orientadas apenas de uma forma subjetiva e com base na experiência dos técnicos. Os autores identificaram que a criticidade dos equipamentos pode ser utilizada como uma forma de priorizar as atividades de manutenção. A partir disso desenvolveram um framework para a avaliação de criticidade dos ativos com base em dados e com isso conseguir priorizar as atividades de manutenção, planejar as decisões a serem tomadas e posteriormente incorporar a ideia em um sistema de produção digitalizado.

Os autores Wing, Mohammed e Abdulah (2016) realizaram um levantamento de forma detalhada em relação aos estudos existentes sobre a priorização de atividades de manutenção. Os autores mostram algumas metodologias, podendo citar: apoio a decisão multicritério, FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis), redes neurais, ANP (Analytic Network Process) e outros mais. Com isso pode-se observar que existem diversas metodologias para proposta de solução que podem ser utilizadas pela organização, no entanto, observando sempre quais os objetivos a serem alcançados.

Como apresentado por Wing, Mohammed e Abdulah (2016) existem em diversos métodos/metodologias para a priorização de ativos, para isto devem ser levados em consideração os objetivos e características do problema a qual a organização busca solucionar. Como apresentado pode-se observar que alguns métodos multicritério de apoio a decisão pode ser utilizados para a realização da priorização das atividades de manutenção e de acordo com os estudos vistos nessa seção tem apresentado resultado satisfatório.

Como visto anteriormente o uso de métodos multicritério pode ser eficiente para aplicação nesse contexto. A figura 4 a seguir apresenta alguns métodos considerados ao utilizar uma abordagem multicritério para o problema.

Figura 4 – Trabalhos sobre priorização de atividades

Autores	Setor	Método	Crítérios
Shen; Lo; Wang	Construção civil	AHP	Status (importância); Condição física; Importância de uso; Efeitos para o usuário; efeitos na prestação do serviço; Efeitos na estrutura
Labib; Williams; O'Connor (1998)	Indústria	AHP; Lógica FUZZY	Frequência de chamadas (falhas); tempo de inatividade; Custo de peças sobressalentes; Reposição; Gargalo máquina;
Farhan; Fwa (2009)	Construção civil	AHP	Função do ativo; Tipo de falha; Gravidade;
Ouma; Opudo; Nyambenya (2015)	Construção civil	FUZZY AHP; FUZZY TOPSIS	Status operacional; Segurança; Condições do pavimento; Condições de estética do pavimento;
Do Carmo Mendonça <i>et al</i> (2018)	Indústria	PROMETHEE	Estoque de horas; Período de parada sem impacto no fluxo; Tempo de falha; Prioridade do produto; Complexidade do tipo de falha;
Trancoso; Hora (2019)	Indústria	TOPSIS	Criticidade; Tipo de manutenção; Condição do equipamento; Dias de atraso;

Fonte: A autora (2021)

Na figura acima, são apresentados alguns trabalhos com relação a priorização das atividades de manutenção. É possível observar que os critérios utilizados podem apresentar algumas variações a considerar o setor de atuação, porém ainda assim apresentam uma semelhança geral. Os critérios estão relacionados principalmente as condições do ativo em como o dado ativo se encontra e qual o impacto para o processo para que seja considerada a priorização das atividades. Dessa forma diante dos trabalhos apresentados é possível identificar que a grande maioria possui uma atenção maior para a priorização dos ativos, e poucos trabalhos em relação a priorização de atividades de manutenção.

3.2 PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS

A priorização de atividades de manutenção pode ser considerada uma das ferramentas utilizadas para apoio a decisão dentre algumas já existentes para a obtenção das operações de manutenção da melhor forma possível (NI; JIN, 2012).

Como mencionado as ações de manutenção preventiva mantem o pleno funcionamento e prolonga a vida útil do ativo. Com isso para obter uma maior eficiência dessas ações a priorização da manutenção deve ser considerada (NI; JIN, 2012).

Andrusca *et al.* (2012) concluem que a introdução de um sistema de gestão de ativos fornece subsídios para a priorização das atividades de manutenção e com isso possibilita o alcance dos objetivos da organização.

Dentro das organizações ainda é comum a dificuldade de planejamento da manutenção preventiva. Esse é um ponto que deve ser enfatizado devido a necessidade do gerenciamento da manutenção. É importante que exista um planejamento de curto e longo prazo para que possam ser assim visualizadas as atividades que devem ser priorizadas e que merecem maior atenção dentro planejamento da manutenção (KHANLARI; MOHAMMADI; SOHRABI, 2008).

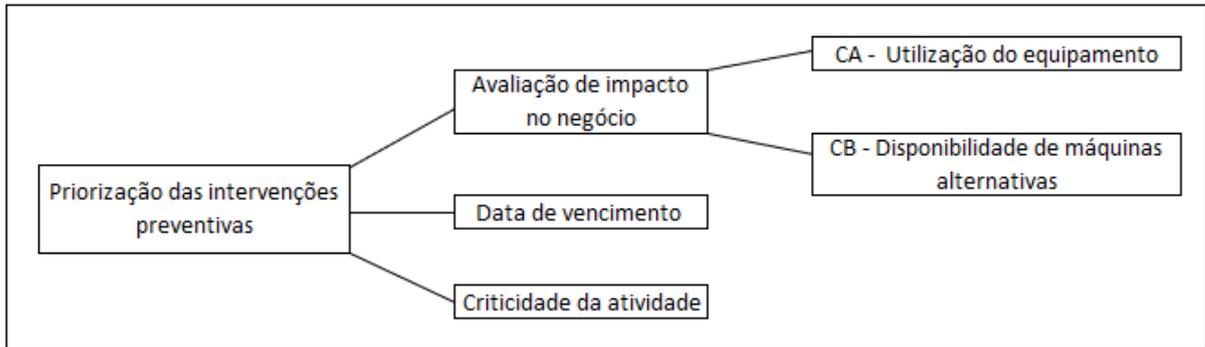
Kumar e Chaturvedi (2011) em seu trabalho propõem uma abordagem aplicada em uma usina siderúrgica para realizar a priorização das ações de manutenção preventiva em equipamentos através da avaliação do risco. O risco foi avaliado através do número de prioridade de risco (RPN), obtido através do histórico de manutenção associado aos modos de falha. o RPN é dividido em duas etapas onde será inicialmente identificado o modo de falha e em seguida o valor do RPN é encontrado a partir da etapa inicial. Os autores ainda utilizam conjuntos Fuzzy para poder lidar com a incerteza e imprecisão dos dados e informações. Os autores ressaltam que a abordagem utilizada pode ser considerada genérica e assim poderá ser adaptada para a priorização da manutenção em outros equipamentos.

Os autores Khanlari, Mohammadi e Sohrabi (2007) realizaram um estudo onde utilizam um sistema fuzzy para priorização das atividades de manutenção preventiva em equipamentos. Para isso tratam a incerteza através da teoria dos conjuntos fuzzy. Nesse contexto as regras fuzzy são utilizadas para interpretar as variáveis linguísticas para a determinação das prioridades. Os autores utilizam seis critérios que foram obtidos através de entrevistas com especialistas de manutenção preventiva na empresa. Os critérios definidos foram: Sensibilidade de operação (SO), Tempo médio entre falhas (MTBF), Tempo médio de reparo (MTTR), Disponibilidade de peças necessárias (ARPa), Disponibilidade de pessoal de reparo (ARPe) e Carga de trabalho (WL). O estudo identificou como satisfatório a utilização das regras fuzzy como ferramenta para estabelecer a priorização da manutenção preventiva em equipamentos. O estudo possibilitou a formulação do conhecimento de especialistas sobre a priorização de equipamentos principalmente devido a não confiabilidade total nos dados fornecidos.

O trabalho desenvolvido por Khanlari, Mohammadi e Sohrabi (2007) enfatiza a importância do estudo das atividades de manutenção em organizações que apresentam recursos limitados e assim necessitam de maior priorização das atividades preventivas.

No estudo desenvolvido por Lopes e Figueiredo (2020) os autores identificaram alguns fatores para priorização das atividades de manutenção preventivas, como pode ser visto a seguir:

Figura 5 – Fatores para priorização de atividades preventivas



Fonte: Adaptado de Lopes e Figueiredo (2020)

Nesse estudo os autores definem três critérios principais ao considerar a priorização das atividades preventivas, como pode ser observado na figura 5 foram adicionados ainda dois subcritérios que estão inseridos no critério principal de avaliação de impacto do negócio.

Em um estudo realizado por Saleh *et al.* (2012) os autores buscaram desenvolver um novo modelo para priorização das atividades de manutenção preventiva em equipamentos médicos através da implantação do desdobramento da função qualidade (QFD). O modelo consiste em uma estrutura dividida em três domínios. O domínio de requisitos (HOQ), domínio de funções (Matriz design) e domínio de conceitos (Índice de priorização). O modelo proposto foi então testado em um total de 200 equipamentos médicos. Os autores afirmam que com a aplicação do modelo foi possível estabelecer um nível de priorização para os equipamentos que varia de muito baixa a muito alta a partir da identificação do nível de criticidade e condições do equipamento.

3.3 PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÕES CORRETIVAS

Tarefas corretivas de maior urgência geralmente estão relacionadas à segurança e que impedem o funcionamento adequado do sistema, devido a isso surge a importância de priorizar as tarefas de manutenção corretiva (DEIGHTON, 2016).

Os operadores precisam lidar com decisões de curto prazo em relação a execução e tempo de cada ação de manutenção, como as ações de manutenção corretiva geralmente devem ser realizadas em um curto espaço de tempo existe um desafio quanto a sua programação (BUDAI *et al.*, 2008; LIDÉN 2015). As ferramentas de apoio à decisão são, portanto, necessárias para conseguir executar as ações corretivas de forma correta, considerando os cronogramas de manutenção e incorporando o impacto de adiar uma ação de manutenção (BUDAI *et al.*, 2008; HE *et al.*, 2015).

Geralmente as atividades não planejadas que representam um maior custo para a operação são minimizadas com maior urgência. Essa prática em alguns casos poderá representar uma priorização equivocada, a redução de custos é um fator importante, porém existem outros fatores a serem considerados no momento da priorização de atividades (DEIGHTON, 2016).

Poucos estudos desenvolvem ou apresentam ferramentas para programar de forma otimizada as atividades de manutenção corretiva. Os operadores programam as atividades de manutenção planejadas e não planejadas, com base em sua experiência (HE *et al.* 2015).

Utilizar constantemente estratégias de manutenção corretiva podem colaborar para o aumento de riscos e comprometimento da segurança, recursos importantes são direcionados indevidamente e a capacidade de produção poderá ser diminuída (DEIGHTON, 2016).

Quanto a priorização de atividades corretivas foram encontrados alguns estudos que são apresentados a seguir.

Grande parte da literatura encontrada apresenta trabalhos BRAGLIA; GABBRIELLI; MARRAZZINI, 2020; CAN, 2018, GHOSHCHI; YOUSEFI; KHAZAEILI, 2019) que utilizam o modo de falha que são coletados com a realização do FMEA (*Failure Mode and Effects analysis*) integrado com uma outra ferramenta para a realização da priorização de atividades de manutenção corretiva.

No trabalho desenvolvido por Braglia, Gabbrielli e Marrazzini (2020) os autores apresentam uma nova ferramenta integrada ao FMEA, para priorizar ações corretivas. O modelo proposto considera aspectos como o impacto econômico da causa raiz da falha, custos para resolver a causa raiz, e viabilidade pra implementação de melhorias.

O autor Can (2018) propõe uma abordagem integrada ao FMEA para classificação das ações preventivas e corretivas a partir dos modos de falha. Utilizam fatores como prioridade, ocorrência, gravidade, custo, detecção, tempo de exposição e segurança do sistema.

Os autores Ghouschi, Yousefi e Khazaeili (2019) utilizam uma abordagem MCDM (*Multicriteria Decision Making*) integrada ao FMEA para a priorização de falhas para o planejamento das atividades corretivas. Consideram como critérios os fatores de severidade, ocorrência e detecção. Os autores reuniram três modelos de categorização de máquinas utilizados por empresas diferentes, para definir um modelo genérico de categorização de máquinas para o estabelecimento de priorização de atividades de manutenção preventivas e corretivas. Os autores utilizaram os seguintes critérios: tempo de trabalho efetivo da máquina, número de falhas da máquina em um período determinado, tempo de parada, mutabilidade da máquina, estabilidade da máquina e influencia na segurança e meio ambiente. Foram levantados modelos presentes na literatura em relação a priorização de tarefas de manutenção preventiva e corretiva, com isso conseguir levantar os critérios geralmente usados para propor o modelo geral.

3.4 POSICIONAMENTO DO TRABALHO

A grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura apresentam a utilização de métodos e metodologias para a priorização dos ativos, de modo a enfatizar a criticidade dos equipamentos dentro da organização. Essa abordagem em alguns casos poderá alterar a sequência adequada de priorização, de modo que em um equipamento crítico o modo de falha não será necessariamente crítico (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020). Como afirma Lopes, Figueiredo e Sá, (2020) A priorização das atividades de manutenção devem ser atribuídas as tarefas e não para o equipamento.

Como apresentado durante as últimas seções, ainda existem poucos trabalhos relacionados a priorização de atividades de manutenção. Principalmente com relação a priorização de atividades corretivas, pois grande parte dos trabalhos encontrados está votado para a priorização de ações preventivas somente. A partir disso se enfatiza a necessidade de aprofundamento quanto a novos estudos com relação a priorização de atividades corretivas.

Os modelos propostos por este trabalho possui foco no executor. O executor possui o papel de realizar as atividades de manutenção sejam elas programadas ou não, a decisão de qual atividade executar deve ter como base um processo bem definido. A partir disso os modelos apresentam uma forma de suporte a decisão para os executores no campo da manutenção.

Grande parte dos trabalhos encontrados apresentam modelos e métodos de priorização para um estudo de caso em específico, no entanto os modelos apresentados por este trabalho

compreende trabalhos e pesquisas presentes na literatura, conseguindo sintetizar as informações principais para construção de um modelo geral que possa se adequar a vários contextos.

O primeiro modelo apresentado que trata da priorização de atividades corretivas possui elevada contribuição acadêmica no sentido de ter um estudo que aborda essa questão, considerando a escassez de literatura nesse contexto como citado anteriormente.

Considerando os trabalhos encontrados na literatura, estes tratam a questão da priorização de atividades de forma isolada, ou seja, apresentam modelos que realizam a priorização de atividades corretivas ou preventivas e não em conjunto. O segundo modelo proposto por esta pesquisa aborda a priorização das corretivas e preventivas de forma conjunta.

Os modelos apresentados trazem critérios extraídos de estudos presentes na literatura, isso atribui uma maior aproximação com a realidade vivenciada pelas empresas.

Além do que foi explanado os modelos se diferenciam dos demais encontrados na literatura principalmente por apresentar foco para o executor de manutenção, para que estes possam ter uma melhor tomada de decisão quanto a priorização de atividades.

No capítulo a seguir a estruturação dos modelos será apresentada, bem como todos os aspectos levados em consideração para construção de ambos os modelos.

4 MODELOS PROPOSTOS

Nesta seção, serão apresentados dois modelos propostos para a priorização de atividades de manutenção, cada modelo proposto aborda um tipo de contexto dentro da manutenção. Os modelos se baseiam em estudos realísticos quanto a construção dos critérios e restrições consideradas.

Inicialmente é apresentado o contexto do problema abordado e bem como as etapas necessárias para a sua estruturação geral. A estruturação apresentada será considerada para os dois modelos propostos. Nos tópicos seguintes são encontradas as aplicações realizadas para cada modelo, cada modelo foi aplicado em uma empresa diferente. O modelo para priorização de ações corretivas foi aplicado em uma empresa de logística e o segundo modelo foi aplicado em uma empresa do setor industrial.

4.1 MODELO I

O primeiro modelo proposto neste capítulo busca estruturar um problema de decisão para a realização da priorização de atividades corretivas que surgem diariamente, para este modelo não são consideradas outros tipos de atividade. A priorização das atividades de manutenção corretivas foi entendida como importante para que os executores possam identificar as atividades de maior urgência conforme os critérios estabelecidos e posteriormente conseguir realizar a priorização em conjunto com as atividades preventivas e demais serviços que possam surgir.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

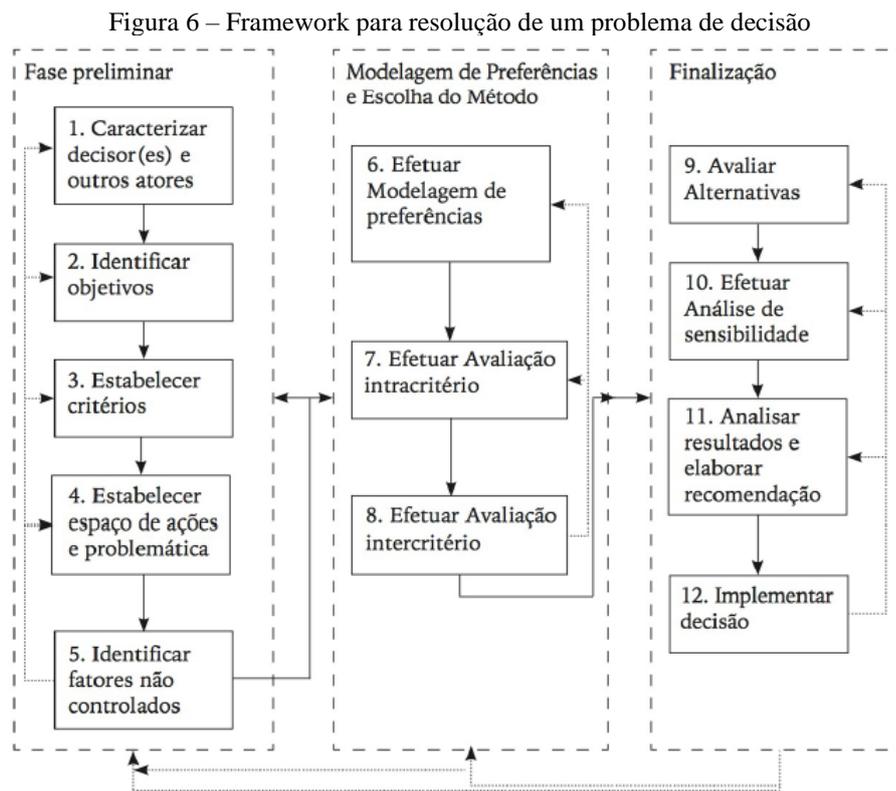
Diariamente os executores se deparam com as demandas de atividades decorrentes do plano de manutenção, solicitações de manutenção corretiva e eventualmente outros serviços que podem surgir. Devido ao surgimento dessas demandas diárias, as atividades necessitam passar por um processo de seleção com o intuito de definir as demandas que são relevantes e prioritárias levando em consideração os objetivos da organização. A questão principal está em volta do processo de priorização, uma vez que existem alguns fatores a serem considerados para a sua realização. Observando este contexto o modelo de priorização proposto busca fornecer um suporte a tomada de decisão para que as intervenções possam ser adequadamente priorizadas e executadas.

A priorização das atividades deve ser realizada, uma vez que não é possível selecionar e realizar todas as demandas em um único dia devido a limitação de recursos como prazos

para realização, riscos, custos envolvidos e tempo disponível. Vale destacar que o modelo poderá ser aplicado em casos onde as atividades corretivas podem ser priorizadas, uma vez que em muitos casos quando a corretiva indisponibiliza o funcionamento do sistema não há a necessidade de priorização visto que deverá ser executada de forma imediata. Neste caso o modelo se destina a atividades de manutenção corretivas que podem ser prorrogadas para execução posterior, mas que também são importantes e devem ser executadas e para isso deve existir uma forma de priorizar a execução dessas manutenções.

4.2.1 Modelagem e estruturação do problema

Para a modelagem do problema de decisão multicritério será adotado o framework estabelecido por De Almeida (2013) que apresenta as etapas para a construção de um problema de decisão.



Na primeira etapa são identificados o(s) decisor(es) e atores envolvidos. Para definir um problema de decisão multicritério os decisores precisam ser devidamente identificados. Para um dado problema, o modelo de decisão poderá ser individual ou em grupo, no primeiro

caso um único decisor toma a decisão final, já no modelo de decisão em grupo os indivíduos serão responsáveis pela tomada de decisão de forma conjunta.

De Almeida (2013) apresenta que em um problema de decisão multicritério além da presença do decisor, podem existir a presença de alguns atores envolvidos tais como: analista, especialista, stakeholders.

Como a tomada de decisão será avaliada no ponto de execução da atividade, para o contexto deste trabalho considera-se ideal que o decisor seja representado pelos executores, a fim de ter um processo de decisão individual. De modo que os executores recebem as ordens de serviço e demandas de atividades programadas e diante disso precisam tomar a decisão de qual atividade deverá ser priorizada.

Na segunda etapa os objetivos devem ser determinados, os objetivos de uma dada organização devem estar alinhados com as metas e necessidades do negócio. Para estabelecer um modelo estruturado que possa representar os reais objetivos da organização quanto a gestão da manutenção e gestão de ativos, uma revisão de literatura foi realizada, como apresentado em seções anteriores deste trabalho.

Alguns métodos que realizam a priorização de atividades de manutenção não levam em consideração os objetivos reais da organização levando em conta somente objetivos financeiros, dessa forma a solução obtida através da aplicação desses métodos poderá não representar um resultado adequado (WING *et al.*, 2016).

No contexto da manutenção alguns objetivos como aumento do tempo de vida útil dos ativos, aumento da qualidade dos produtos, redução de custos, disponibilidade de recursos, otimização dos processos devem ser considerados. Tais objetivos serão representados através dos critérios estabelecidos na etapa seguinte.

Nesta etapa são definidos os critérios considerados para a avaliação das alternativas. O modelo proposto deve compreender a priorização de atividades corretivas.

Os critérios devem ser definidos a partir da análise do contexto e do problema em questão. Com base na revisão de literatura realizada alguns critérios foram identificados como importantes para a priorização de atividades de manutenção, considerando as necessidades e objetivos das organizações, para então definir os critérios de maior relevância para o processo de decisão.

A seguir são detalhados os critérios e as respectivas justificativas levadas em consideração para a utilização de cada um dos critérios no presente modelo.

Critério 1 – Impacto na produtividade: este critério será determinado pela junção de dois subcritérios. O subcritério A está relacionado com a taxa de utilização do ativo, e o subcritério B está relacionado a quantidade de máquinas alternativas ou sobressalentes no sistema. A partir desses subcritérios será possível determinar o nível de prioridade que o ativo representa dentro do sistema de produção. O impacto na produtividade deverá ser determinado para cada equipamento, para fornecer subsídio para a priorização das atividades de manutenção. Para que este critério possa ser considerado a organização deverá possuir um sistema que possa classificar os ativos e armazenar essa informação quanto ao seu impacto em relação a produção.

Os subcritérios foram determinados considerando o impacto que um dado ativo poderia causar na produtividade (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020).

O critério de tempo de utilização do equipamento representa a importância da linha de produção a qual o equipamento pertence. Dessa forma uma linha de produção que possui maior tempo de funcionamento e ao mesmo tempo um menor intervalo de tempo para realização de manutenções consequentemente apresenta uma maior criticidade para o sistema (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020).

Tabela 1 – Tempo de utilização do ativo (Subcritério A)

Nível	Descrição
1	Baixa taxa de utilização (≤ 84 h por semana)
2	Média taxa de utilização (entre 84h e 126 por semana)
3	Alta taxa de utilização (≥ 126 h por semana)

Fonte: Adaptado de Lopes, Figueiredo e Sá (2020)

O subcritério B busca apontar se existem outras máquinas que podem desempenhar a mesma função que a máquina avaliada (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020). Com a existência de máquinas alternativas o impacto na produtividade poderá ser minimizado.

Tabela 2 – Quantidade de máquinas alternativas Subcritério B

Nível	Descrição
1	Pelo menos uma máquina
2	Sem máquina alternativa

Fonte: Adaptado de Lopes, Figueiredo e Sá (2020)

Os dois subcritérios foram definidos e combinados para identificar o impacto na produtividade caso ocorra alguma parada. A tabela 3 mostra a combinação dos dois subcritérios para a definição do critério de impacto na produtividade.

Tabela 3 – Critério de impacto na produtividade

		Subcritério B	
		Nível	
		1	2
Nível	Subcritério A	Pelo menos uma máquina	Sem máquina
1	Baixa taxa de utilização ($\leq 84h$ por semana)	1	2
2	Média taxa de utilização (entre 84h e 126h por semana)	2	3
3	Alta taxa de utilização (> 126 por semana)	3	4

Fonte: Adaptado de Lopes, Figueiredo e Sá (2020)

O impacto na produtividade deverá ser calculado para cada equipamento. Um ativo com baixa criticidade receberá valor 1 e ativos com elevada criticidade recebem o valor máximo 4.

Critério 2 – Criticidade da atividade: para determinar a criticidade de uma atividade serão utilizados dois subcritérios. O subcritério A está relacionado ao tempo de inatividade do ativo, o subcritério B está relacionado ao tempo de duração da resolução da atividade. Este critério foi adaptado a partir da pesquisa realizada pelos autores Lopes *et al.* (2017). O critério busca priorizar a atividades de manutenção através da avaliação do impacto da falha, combinando dois subcritérios. Neste caso a criticidade é atribuída a atividade e não ao equipamento. Nas tabelas abaixo são apresentados os dois subcritérios considerados.

Tabela 4 – Tempo de inatividade (Subcritério A)

Nível	Descrição
1	Sem inatividade
2	Parada gradual
3	Parada imediata

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2017)

Tabela 5 – Tempo de resolução (Subcritério B)

Nível	Descrição
1	Resolução imediata ($t < 15$ min)
2	Resolução longa ($15 < t < 45$ min)
3	Resolução longa e complexa ($t > 120$ min)

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2017)

Na tabela abaixo estão compreendidos os níveis determinados para o critério de criticidade da atividade a partir dos dois subcritérios considerados.

Tabela 6 – Critério de criticidade da atividade

Nível	Descrição
1	Parada gradual e resolução imediata
1	Sem inatividade e resolução imediata
2	Parada gradual e resolução longa
2	Parada imediata e resolução imediata
3	Sem inatividade e resolução longa
3	Sem inatividade e resolução longa e complexa
4	Parada gradual e resolução longa e complexa
4	Parada imediata e resolução longa
4	Parada imediata e resolução longa e complexa

Fonte: A autora (2021)

O nível 1 representa o menor índice de criticidade da atividade e menor priorização. O nível 4 representa o maior nível de criticidade e recebe uma priorização maior.

Critério 3 – Impacto da falha na produção: este critério está relacionado ao status em que o ativo se encontra após ocorrência da falha. O operador irá sinalizar o estado da máquina para os técnicos de manutenção que poderão registrar a ocorrência no CMMS.

Tabela 7– Critério de impacto da falha na produtividade

Nível	Descrição
1	Máquina em pleno funcionamento
2	Máquina trabalhando com perda de desempenho
3	Máquina com possibilidade de causar impacto na produção
4	Máquina parada

Fonte: Adaptado de Lopes, Figueiredo e Sá (2020)

Como poder ser observado após a ocorrência o ativo poderá permanecer em pleno funcionamento ou poderá vir a parar totalmente.

No último caso o nível de priorização será maior. Para o nível 1 a máquina atua normalmente, considerando o nível 2 a máquina opera com redução de velocidade ou

pequenas paradas, para o nível 3 produtos fora da conformidade podem reduzir o rendimento da máquina, o nível 4 apresenta o máximo de impacto (LOPES; FIGUEIREDO; SÁ, 2020).

Critério 4 – Segurança e saúde: este critério busca avaliar o quanto a ocorrência da falha ou defeito no ativo poderá oferecer risco a segurança e saúde dos indivíduos. Este critério foi inserido devido a demandas corretivas que apresentam maior risco a segurança de operação ou elevado dano à saúde, em consequência disto atividades desse tipo devem possuir um maior nível de priorização diante das demais. Os níveis para este critério foram definidos com base nos trabalhos contidos na literatura, dando maior ênfase aos trabalhos dos autores (VIANA, 2002; LOPES *et al.*, 2017; STADNICKA; ANTOSZ; RATNAYAKE, 2013).

Tabela 8 – Critério de segurança e saúde

Nível	Descrição
1	Ausência de risco para a segurança e saúde
2	Risco médio para a segurança e saúde
3	Alto risco para a segurança e saúde
4	Risco extremamente alto para a segurança e saúde

Fonte: A autora (2021)

O risco de nível 1 será atribuído quando a falha não apresenta nenhum risco aparente. O risco de nível 2 será considerado no momento em que a falha ocasiona riscos como vazamentos, poeira, névoas, iluminação defeituosa. O risco de nível 3 será atribuído quando a falha ocasiona perigo e alto risco a saúde do operador como liberação de gases tóxicos, choque elétrico. O risco de nível 4 está relacionado a atividade que afeta a integridade física do operador e demais indivíduos, como risco de incêndio e propagação de substância tóxica, envenenamento, radiação.

Critério 5 – Impacto ambiental: este critério diz respeito a quanto determinada ocorrência poderá impactar na questão ambiental e se há o descumprimento de regulamentos e regras ambientais necessárias ao funcionamento adequado do ativo. Os níveis para este critério foram definidos com base nos trabalhos contidos na literatura.

Tabela 9 – Critério de impacto ambiental

Nível	Descrição
1	Risco ambiental baixo
2	Risco ambiental médio
3	Risco ambiental alto

Fonte: A autora (2021)

O primeiro nível que representa um baixo risco ambiental ocorre quando a falha não afeta de forma significativa o meio ambiente interno. O nível 2 está relacionado a um nível médio de risco ambiental, ocorre quando o meio ambiente interno e externo podem ser afetados. O último nível será utilizado quando a falha provoca um risco ao meio ambiente interno e externo extremamente alto como a existência de efluentes, presença de radiação, pressão anormal.

Critério 6 – Impacto na qualidade do produto: este critério foi inserido para avaliar quando a ocorrência poderá influenciar na qualidade do produto ou não.

Tabela 10 – Critério de impacto na qualidade do produto

Nível	Descrição
1	Causa perda parcial na qualidade do produto
2	Compromete totalmente a qualidade do produto

Fonte: A autora (2021)

O nível 2 indica quando a ocorrência ocasiona elevada perda de qualidade do produto seja durante o seu processo de produção ou após a finalização do produto, como produtos não conformes com a qualidade exigida. O nível 1 indica quando a ocorrência pouco impacta na qualidade do produto durante o processo ou após o produto acabado.

Como apresenta Viana (2002), a preocupação com a qualidade do produto é um fator importante para as organizações. Com isso deve ser considerado no processo de priorização das atividades de manutenção.

Para a avaliação de cada atividade de manutenção de acordo com os critérios, uma escala verbal e numérica foi definida identificando o nível de cada um dos critérios.

Tabela 11 – Descrição dos critérios

Critério	Tipo	Nível	Descrição do nível
C1	Máx	1	Baixo tempo de utilização ($\leq 84h$ por semana) e pelo menos uma máquina alternativa
		2	Baixo tempo de utilização ($\leq 84h$ por semana) e sem máquina, máquina alternativa
		2	Médio tempo de utilização (entre 84h e 126h por semana) e pelo menos uma máquina alternativa
		3	Médio tempo de utilização (entre 84h e 126h por semana) e sem máquina alternativa
		3	Elevado tempo de utilização ($> 126h$ por semana) e pelo menos uma máquina alternativa
		4	Elevado tempo de utilização ($> 126h$ por semana) e sem máquina alternativa
C2	Máx	1	Máquina em pleno funcionamento

		2	Máquina trabalhando com perda de desempenho
		3	Máquina com desempenho capaz de causar impacto na produção
		4	Máquina parada
C3	Máx	1	Parada gradual e resolução imediata
		1	Sem inatividade e resolução imediata
		2	Parada gradual e resolução longa
		2	Parada imediata e resolução imediata
		2	Sem inatividade e resolução longa
		3	Sem inatividade e resolução longa e complexa
		3	Parada gradual e resolução longa e complexa
		3	Parada imediata e resolução longa
		4	Parada imediata e resolução longa e complexa
C4	Máx	1	Ausência de risco para a segurança e saúde
		2	Risco médio para a segurança e saúde
		3	Alto risco para a segurança e saúde
		4	Risco extremamente alto para a segurança e saúde
C5	Máx	1	Risco ambiental baixo
		2	Risco ambiental médio
		3	Risco ambiental extremamente alto
C6	Máx	1	Não causa perda na qualidade do produto
		2	Causa perda parcial na qualidade do produto
		3	Compromete totalmente a qualidade do produto

Fonte: A autora (2021)

Nesta etapa são definidos o espaço de ações e problemática do problema de decisão. Para encontrar a solução que corresponda as necessidades do decisor é então necessário determinar o tipo de problemática. O decisor deverá então identificar de que forma deseja que sejam apresentadas as alternativas no resultado final.

De acordo com Roy (1996) existem quatro tipos de problemáticas que podem ser consideradas para um problema de decisão multicritério, como determinado a seguir:

- Problemática de escolha ($P.\alpha$): a problemática de escolha possui como objetivo encontrar a melhor alternativa dentre o conjunto de alternativas consideradas para o problema. As alternativas são comparadas buscando encontrar apenas uma solução. A solução encontrada irá indicar uma recomendação ou decisão a ser tomada.
- Problemática de ordenação ($P.\gamma$): para a problemática de ordenação o resultado deverá compreender as alternativas de forma ordenada. a solução é então apresentada de forma decrescente, de modo que no topo do *ranking* estão as alternativas com melhor resultado para a solução desejada.

- Problemática de classificação (P.β): na problemática de classificação o conjunto de alternativas será classificado em categorias definidas. As alternativas são colocadas em classes com valores previamente definidos. Cada categoria deverá então definir o direcionamento a ser dado para cada ação.
- Problemática de descrição (P.δ): para a problemática de descrição são descritas as ações e suas consequências, de modo a apresentar as informações para auxiliar o decisor na tomada de decisão.

Além das problemáticas definidas por Roy (1996) existe ainda a problemática de portfólio. Como afirma De Almeida (2013), a problemática de portfólio possui como objetivo encontrar um subconjunto ótimo dentre o conjunto de alternativas consideradas. O subconjunto deverá então atender a restrições e objetivos estabelecidos.

Para o modelo atual será considerada a problemática de ordenação, tendo em vista que o objetivo será realizar uma ordenação das atividades corretivas, de forma a obter um ranqueamento das atividades priorizadas, na sequência da mais urgente para a de menor urgência de execução. O conjunto de alternativas será discreto, e composto pela quantidade de atividades corretivas.

As alternativas do problema de decisão multicritério são representadas pelas atividades corretivas a serem realizadas.

É importante destacar que para que seja construída a matriz de avaliação para a aplicação do modelo, os operadores e técnicos de manutenção devem possuir uma estrutura que forneça condições de aplicação e avaliação dos critérios, para isso é recomendável o uso de um CMMS que deverá ser utilizado para o adequado gerenciamento da manutenção e aplicação correta do modelo proposto. Dessa forma as informações para a avaliação de cada critério poderão ser obtidas com maior facilidade através do CMMS que a empresa utiliza.

Após a etapa anterior são identificados os fatores não controlados, caso existam. Na identificação de fatores não controlados, para o contexto do problema de decisão abordado, nesse trabalho não existem estados da natureza que podem influenciar os valores das consequências.

A sexta etapa compreende a modelagem de preferências e alternativas estabelecidas pelo decisor. Segundo De Almeida (2013) a estrutura de preferências é considerada um dos fatores principais na escolha de um método. Se a estrutura de preferências não estiver de acordo com a escolha do decisor o modelo de decisão estará incorreto.

As preferências devem ser estabelecidas pelo decisor, de acordo com as preferências e definição da racionalidade o método multicritério poderá ser selecionado. Ao admitir que a racionalidade do decisor é compensatória, então o baixo desempenho de um determinado critério em uma dada alternativa poderá ser compensado por um desempenho melhor em outro critério. Quando a racionalidade é não compensatória então não pode haver compensação entre os critérios.

Em seguida a avaliação intracritério cada alternativa é analisada considerando cada um dos critérios. Dessa forma, encontrar um valor que possa representar a avaliação de cada alternativa (i) para cada um dos critérios (j) a partir das preferências estabelecidas pelo decisor e com isso determinar a função valor $V_j(A_i)$.

Nesta etapa os critérios são transformados em uma escala única, isso quer dizer que os valores da matriz de consequências são então normalizados. A avaliação intracritério permite representar o problema através dos valores obtidos para cada consequência. Para o problema atual considera-se que a preferência do decisor será linear.

Com a realização da avaliação intracritério esta irá fornecer as informações para a realização da avaliação intercritério que irá considerar a combinação dos diferentes critérios. Na avaliação intercritério são definidos os valores das constantes de escala dos critérios (ou pesos a depender do método escolhido), para posteriormente realizar a comparação entre as alternativas.

Na etapa seguinte ocorre a avaliação das alternativas. Nesta etapa ocorre a avaliação global das alternativas, com os valores das constantes de escala é possível obter os valores globais.

Em seguida pode ser realizada uma análise de sensibilidade, que consiste em variar alguns parâmetros do problema para compreender a robustez da solução encontrada. Com essa etapa é possível concluir se o resultado encontrado está adequado.

Em seguida os resultados obtidos com a análise de sensibilidade passam por uma análise final e então é realizada a recomendação para o decisor juntamente com os riscos envolvidos no processo.

Na etapa final o resultado obtido poderá ser aplicado, a organização então irá decidir se a ação será aplicada de imediato ou posteriormente.

4.3 APLICAÇÃO MODELO I

Para fins de melhor compreensão do modelo proposto, foi realizada uma aplicação utilizando um método multicritério.

Considerando uma racionalidade compensatória o método por elicitação flexível FITradeoff poderá ser utilizado para aplicação do modelo. Uma vez que é um método de fácil aplicação que demanda um menor esforço cognitivo do decisor durante todo o processo de elicitação exigindo apenas informação parcial. É um método totalmente interativo onde o decisor poderá encerrar o processo de elicitação no momento em que considera que as informações parciais obtidas até o momento são suficientes para a resolução do problema e tomada de decisão.

4.3.1 Contexto de aplicação

A aplicação ocorreu em uma empresa transportadora do setor de logística. A empresa possui atuação em todo o território nacional, a filial localizada no Estado do Pernambuco foi considerada para a aplicação do modelo. Como se trata de uma empresa do ramo logístico, os ativos serão os veículos utilizados para execução do serviço.

A empresa possui uma grande quantidade de caminhões de diversos modelos que operam diariamente no transporte de mercadorias. Realiza o transporte de produtos farmacêuticos, eletrodomésticos, eletroeletrônicos e mercadorias em geral, de diversos clientes. Possui quatrocentos e noventa e sete equipamentos próprios e aptos para o transporte das mercadorias em vinte e três filiais. A filial de maior demanda possui cento e quinze placa ativas. O setor de gestão de frota é composta de nove pessoas alocados na matriz, nas filiais de maior volume há uma equipe de manutenção dedicada de duas pessoas e nas filiais de volume inferior existem ações realizadas em conjunto com o setor operacional. Não há oficina própria, então toda demanda de manutenção é realizada por oficinas parceiras da rede fechada. As manutenções são iniciadas conforme relato do condutor, chamada preventiva e inspeção da frota realizadas nas bases.

Geralmente no setor industrial as máquinas e equipamentos permanecem estáticos. Esta é uma aplicação diferente uma vez que os ativos estão constantemente em movimento. Apesar de se tratar de um contexto diferente, os objetivos a serem considerados são os mesmos, buscando a redução de custos, melhor utilização dos recursos, aumento de receita.

Para a aplicação e resolução do problema de decisão um dos funcionários diretamente envolvido na área de manutenção desempenhou o papel de decisor, estabelecendo suas preferências e avaliações.

Foram reunidas algumas ordens de serviço e coletadas as ações de manutenção corretiva que geralmente acontecem diariamente, para definir a prioridade com a aplicação do modelo. No total foram selecionadas vinte e três ações corretivas que irão representar as alternativas no problema de decisão (Tabela 12).

Tabela 12 – Alternativas do problema

Alternativas	
1	Reparar vazamento no baú
2	Alinhamento e balanceamento de pneu
3	Substituir lâmpada farol
4	Substituir chave seta
5	Substituir/reparar alternador
6	Substituir bateria
7	Substituir lona de freio
8	Substituir/reparar cuica freio
9	Substituir/reparar tambor de freio
10	Substituir cabo acionador porta
11	Recuperar para-choque dianteiro
12	Substituir correia do motor
13	Substituir filtro separador de água
14	Substituir junta cabeçote
15	Substituir bomba óleo
16	Reparar vazamento na caixa de direção
17	Substituir amortecedor
18	Substituir pneu
19	Substituir retentor de roda
20	Substituir jogo embuchamento manga de eixo
21	Substituir mola do feixe traseiro
22	Substituir kit embreagem
23	Substituir/reparar bicos injetores

Fonte: A autora (2021)

Após a definição das alternativas, os critérios anteriormente apresentados foram analisados pelo decisor e identificados como necessários ou não para o seu contexto, dentre os critérios apresentados o decisor desconsiderou apenas o critério de “impacto na produtividade”, este critério exclusivamente está relacionado ao equipamento. O decisor observou que todos os ativos (caminhões) possuem um outro sobressalente em caso de parada e que o tempo de atividade de cada ativo é basicamente o mesmo, com isso o critério de

impacto na produtividade permaneceria com a mesma avaliação para todas as alternativas e assim não seria viável incluir no modelo.

Para esta aplicação foram considerados somente os critérios apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 – Critérios do problema

Item	Critérios
C1	Criticidade da atividade
C2	Segurança e saúde
C3	Impacto ambiental
C4	Qualidade do produto
C5	Impacto da falha

Fonte: A autora (2021)

Com a definição das alternativas e critérios o decisor então realizou avaliação de desempenho de cada alternativa para cada um dos critérios. A matriz de avaliação foi obtida conforme apresentado na tabela 14:

Tabela 14 – Matriz de Avaliação

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
Reparar vazamento no baú	1	3	1	1	1
Alinhamento e balanceamento de pneu	2	1	1	2	1
Substituir lâmpada farol	4	1	1	1	1
Substituir chave seta	3	1	1	1	1
Substituir/reparar alternador	2	1	2	4	1
Substituir bateria	1	1	2	4	1
Substituir lona de freio	3	1	1	2	1
Substituir/reparar cuica freio	3	1	2	3	1
Substituir/reparar tambor de freio	4	1	2	4	1
Substituir cabo acionador porta	1	1	1	1	1
Recuperar para-choque dianteiro	2	1	1	1	1
Substituir correia do motor	2	1	2	4	2
Substituir filtro separador de água	1	1	1	2	1
Substituir junta cabeçote	1	1	2	2	1
Substituir bomba óleo	1	1	2	3	1
Reparar vazamento na caixa de direção	1	1	4	4	2
Substituir amortecedor	1	3	1	2	1
Substituir pneu	3	3	2	4	1
Substituir retentor de roda	3	1	2	2	1
Substituir jogo embuchamento manga de eixo	2	1	3	2	1
Substituir mola do feixe traseiro	2	3	3	1	1
Substituir kit embreagem	1	1	3	4	1
Substituir/reparar bicos injetores	1	1	3	2	1

Fonte: A autora (2021)

Após construção da matriz decisão foi utilizado o SAD do método FITradeoff para a aplicação e resolução do problema de decisão. Inicialmente foi carregada a matriz de avaliação para o SAD e em seguida o decisor estabeleceu a ordenação das constantes de escala para os critérios (Tabela 15).

Tabela 15 – Ordem dos critérios

Ordem	Critérios
1	Segurança e saúde
2	Qualidade do produto
3	Criticidade da atividade
4	Impacto da falha
5	Impacto ambiental

Fonte: A autora (2021)

Na etapa seguinte foi realizada a elicitación flexível fornecida pelo método FITradeoff. Na elicitación flexível o decisor estabelece sua preferência diante das consequências apresentadas. Como resultado foi obtido o *ranking* contendo a as atividades corretivas que devem ser priorizadas em uma sequência de urgência decrescente, ou seja, ações corretivas que aparecem no topo da lista devem ser executadas com maior urgência. O decisor respondeu a um total de nove questões até obter o resultado final. O *ranking* com as ações priorizadas é apresentado na tabela 16 a seguir:

Tabela 16 – Ranking das ações priorizadas

Ordem	Alternativa
1	[Substituir/reparar tambor de freio]
2	[Substituir lâmpada farol] [substituir pneu]
3	[Substituir/reparar cuica freio] [substituir mola do feixe traseiro] [substituir retentor de roda] [substituir lona de freio] [substituir chave seta]
4	[Substituir jogo embuchamento manga de eixo]
5	[Substituir correia do motor]
6	[Substituir/reparar alternador]
7	[Alinhamento e balanceamento de pneu]
8	[Recuperar para-choque dianteiro] [substituir amortecedor]
9	[Reparar vazamento no baú]
10	[Reparar vazamento na caixa de direção]
11	[Substituir kit embreagem]
12	[Substituir/reparar bicos injetores]
13	[Substituir bateria]
14	[Substituir bomba óleo]
15	[Substituir junta cabeçote]

16 [Substituir filtro separador de água]

17 [Substituir cabo acionador porta]

Fonte: A autora (2021)

Como pode ser observado no resultado apresentado acima a ação corretiva de “Substituir/reparar o tambor de freio” está no topo do *ranking*, dessa forma possui maior urgência de execução. É possível perceber a urgência de execução devido ao critério de segurança estabelecido como de maior importância para o decisor, de modo que problemas no freio ocasionam elevados riscos a vida do condutor. Em seguida as ações de “substituir lâmpada do farol e substituir pneu” se encontram na sequência quanto a urgência de execução. Em último lugar no *ranking* se encontra a atividade de substituir o cabo acionador da porta, com menor urgência de priorização.

4.4 MODELO II

Em grande parte das organizações os recursos geralmente apresentam alguma limitação. No ambiente industrial comumente cada setor possui limitações de recursos para a realização das funções e atividades necessárias ao desenvolvimento do negócio. No contexto da manutenção isso não seria diferente, a limitação de recursos é um fator que deve ser considerado ao realizar o planejamento da manutenção.

Levando em consideração as atividades de manutenção, como não é possível selecionar e realizar todas as demandas em um único dia devido a limitação de recursos como prazos para realização, riscos, custos envolvidos e tempo disponível. A seleção de atividades deverá permitir que o executor obtenha o melhor portfólio para a priorização de atividades considerando o limite de recursos disponíveis.

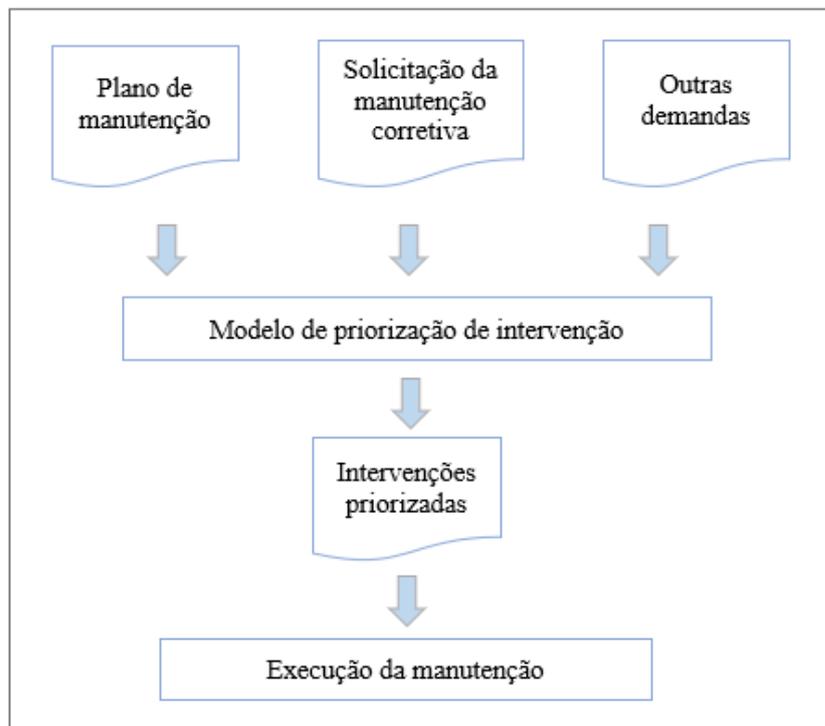
Um outro modelo de priorização é proposto por este trabalho, este segundo modelo passa a considerar as restrições geralmente presentes para a realização das manutenções, considerando as atividades programadas e atividades corretivas em um único modelo. Para este modelo proposto a limitação dos recursos são representados por restrições estruturadas através de um modelo de programação linear.

O modelo busca obter um subconjunto de atividades dentro do conjunto geral de atividades preventivas e corretivas diárias, com o objetivo de obter um portfólio ótimo considerando as restrições e objetivos estabelecidos. A seleção do portfólio será baseada no modelo de decisão multicritério proposto e com isso obter o melhor portfólio que compreenda a priorização das atividades.

O segundo modelo irá encontrar dentre o conjunto de atividades quais devem receber atenção imediata. Deverão ser realizadas as corretivas ou as preventivas estabelecidas no plano de manutenção, ou ambas? O segundo modelo estabelecido apresenta uma proposta para essa decisão.

A Figura 7 a seguir apresenta o fluxo para o segundo modelo de priorização proposto por esta pesquisa.

Figura 7 – Fluxo do modelo de priorização



Fonte: A autora (2021)

Este segundo modelo compreende as mesmas etapas de estruturação estabelecidas pelo modelo anterior, com apenas algumas modificações que serão apresentadas.

O decisor e objetivos permanecem os mesmos, definidos anteriormente. Quanto aos critérios serão utilizados os mesmos critérios apenas com a retirada de um critério. O critério de “Impacto da falha na produção” deverá ser desconsiderado nesse modelo, uma vez que este critério diz respeito somente a atividades corretivas e para o modelo atual o mesmo modelo considera atividades preventivas e corretivas, então os critérios devem compreender os dois tipos de atividades.

Para este modelo as alternativas do problema de decisão multicritério serão representadas pelas atividades preventivas e corretivas a serem realizadas. Diante das

alternativas apresentadas, o portfólio será composto pelo subconjunto de alternativas que representam a maximização da pontuação total do portfólio, considerando as restrições determinadas. As atividades que compõem o portfólio são:

- Atividades programadas;
- Atividades corretivas;
- Demais serviços de manutenção.

Como mencionado em seções anteriores as atividades programadas são as demandas determinadas no plano preventivo estabelecido inicialmente para cada ativo. As atividades corretivas são aquelas em que ocorre a atuação após a ocorrência da falha e demais serviços de manutenção são aqueles que não se enquadram como atividades programadas ou corretivas.

A seleção de atividades deverá permitir que o executor obtenha o melhor portfólio para a priorização de atividades considerando o limite de recursos disponíveis.

Considerando o problema atual a ideia é obter um subconjunto de alternativas que estão contidas em um conjunto maior e pra isso considerar as restrições que foram apresentadas. Diante disso a problemática de portfólio se adequa ao contexto.

O objetivo será obter um resultado que represente o portfólio ótimo com o subconjunto de alternativas. Estas por sua vez devem apresentar um desempenho médio para todos os critérios estabelecidos, com isso a racionalidade a ser admitida será a não compensatória. Ao considerar a racionalidade não compensatória diversos métodos que não admitem tal racionalidade podem ser descartados.

Para o presente modelo o método de sobreclassificação PROMETHEE V será utilizado, tendo em vista a sua utilização e relevância no contexto de problemas de portfólio.

O julgamento quanto a importância relativa de cada critério neste caso é atribuída pelo decisor que define o grau de importância dos critérios. A atribuição dos pesos dos critérios deverá ser alocado de acordo com os objetivos e necessidade de cada organização, cada empresa deverá avaliar qual o critério deverá ser considerado de maior relevância para o contexto da execução de atividades de manutenção, de forma a estar alinhado com as estratégias do negócio e estratégias da manutenção.

4.4.1 Formulação do modelo de programação linear

Função objetivo:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \Phi_i X_i \quad (5.1)$$

Onde:

Φ_i = *fluxo líquido de cada alternativa i*

X_i = *variável binária que indica se a alternativa está no portfólio*

n = *número total de alternativas*

4.4.1.1 Restrições do modelo

Em grande parte das organizações os recursos geralmente apresentam alguma limitação. No modelo proposto a limitação dos recursos são representados por restrições. Para este modelo as restrições incluem a limitação de tempo para execução de atividades e limitação de custo total disponível.

Restrição 1: restrição de tempo para a execução das atividades, as atividades devem ser executadas considerando o tempo disponível. O tempo para execução das atividades é limitado pela quantidade de executores disponíveis. Para a formulação da restrição de tempo a organização deve observar a quantidade de horas totais que cada executor trabalha diariamente.

$$\sum_{i=1}^n T_i X_i \leq T_D \quad (6.1)$$

Onde:

T_i : Tempo para execução de cada atividade

T_D : Tempo total disponível

Restrição 2: restrição de custo, o resultado das alternativas contidas no portfólio deverá obedecer a restrição de disponibilidade de custo máximo permitido. O custo geralmente é um dos principais fatores de que limitam as ações de uma organização. No ambiente da manutenção industrial as atividades preventivas e corretivas podem apresentar elevados custos, isso por sua vez limita a realização de todas as atividades de manutenção. Por essa razão a restrição de custo será considerada no presente modelo.

Dessa forma pode ser descrito que:

$$\sum_{i=1}^n Ct_i X_i \leq Ct_D \quad (6.2)$$

Onde:

Ct_i : custo de uma dada atividade

Ct_D : custo limite total

Restrição 3: restrição de domínio, indicando que a variável X_i é binária.

$X_i \in \{0,1\}$

4.5 APLICAÇÃO MODELO II

Para fins de melhor compreensão do segundo modelo proposto, foi realizada uma aplicação utilizando o método multicritério PROMETHEE V que incorpora restrições para obtenção dos objetivos, algo que é bastante comum nas empresas devido a limitação de recursos.

4.5.1 Contexto de aplicação

A segunda aplicação foi realizada em uma empresa multinacional de bens de consumo. Dentro da organização existem Sites espalhados por SP, MG e PE. Cada local possui a concentração da produção de um tipo de produto, para esse modelo e discussão e o estudo foi aplicado na fábrica de Igarassu, fabricante de produtos de limpeza. Dentro do processo de produção existem duas áreas: *Process e Packaging*. O Case é destinado a área de *Packiging*, onde se embala os Bags e os Fardos para posterior paletização.

Atualmente a empresa possui grandes dificuldades em definir quais atividades priorizar. Muitas vezes quando decidem priorizar uma determinada atividade, ocorrem impactos em custo, atraso produtivo ou superdimensionamento. Como a empresa não possui

oportunidade de parada de máquina, é fundamental que a equipe de manutenção possa ser o mais assertiva possível para que não tenham impactos em produtividade, segurança e qualidade.

Como comentado anteriormente o modelo proposto para essa aplicação visa priorizar o conjunto de atividades corretivas e preventivas, as etapas para construção para este modelo são as mesmas do primeiro modelo estabelecido.

Diferentemente da primeira aplicação, este modelo pôde ser aplicado em uma empresa do setor industrial onde as máquinas e equipamentos de produção são os ativos.

Para a aplicação e resolução do problema de decisão um dos funcionários diretamente envolvido na área de manutenção desempenhou o papel de decisor, estabelecendo suas preferências e avaliações.

Após a identificação do decisor, foram selecionadas as ações corretivas a partir do banco de dados da área de manutenção da empresa, no total foram selecionadas vinte e uma ações corretivas que irão representar as alternativas no problema de decisão (Tabela 17).

Tabela 17 – Alternativas do problema

Alternativas	
A1	Realizar pintura de todos os motores
A2	Manutenção nas mordças
A3	Manutenção nas mordças
A4	Apoio limpeza de exaustão - desmontagem
A5	Realizar a substituição da correia
A6	Realizar revisão mesa balança varpe
A7	Substituir cabos de ligação do motor
A8	Inspeção de proteções de nr-12
A9	Calibrar balança varpe vp14b
A10	Lubrificar enchedeira L14B
A11	Tbm-3m-lub-mm-balan. Varpe L14
A12	Lubrificar enfardadeira L14
A13	Calibara balança varpe vp14a
A14	Inspeção de proteções de nr-12
A15	Substituição de cabos elétricos dos motores
A16	Tampa traseira solta e com cabos expostos
A17	Inspeccionar tomadas dos motores A e B
A18	Inspeção e reaperto na caixa de multa do
A19	Inspeção e limpeza nas tomadas
A20	Inspeção Esteira transportadora de fardos
A21	Ajustar Bandeja com folga

Fonte: A autora (2021)

Com a definição das alternativas, os critérios foram analisados pelo decisor e identificados como necessários ou não para o seu contexto, dentre os critérios apresentados o decisor definiu que todos eram importantes e que deveriam ser considerados no problema de decisão. Dessa forma cinco critérios foram considerados para o contexto do problema, conforme apresentado na tabela 18:

Tabela 18 – Critérios do problema

Critérios	
C1	Impacto na produtividade
C2	Criticidade da atividade
C3	Segurança e saúde
C4	Impacto ambiental
C5	Qualidade do produto

Fonte: A autora (2021)

Para a aplicação do método multicritério, a partir das preferências do decisor foi realizada a construção da matriz de consequências, onde o decisor fez a avaliação de cada alternativa considerando os cinco critérios apresentados. Na tabela 19 são apresentados os dados obtidos.

Tabela 19 – Matriz de Avaliação

Alternativas		Critérios				
		C1	C2	C3	C4	C5
A1	Realizar pintura de todos os motores	1	1	1	1	1
A2	Manutenção nas mordanças	4	3	1	1	2
A3	Manutenção nas mordanças	4	3	1	1	2
A4	Apoio limpeza de exaustão - desmontagem	1	1	2	2	1
A5	Realizar a substituição da correia	3	2	1	1	1
A6	Realizar revisão mesa balança varpe	3	2	1	1	1
A7	Substituir cabos de ligação do motor	2	1	3	1	1
A8	Inspeção de proteções de nr-12	1	1	3	1	1
A9	Calibrar balança varpe vp14b	2	3	1	1	2
A10	Lubrificar enchedeira L14B	2	1	1	1	1
A11	Tbm-3m-lub-mm-balan. Varpe L14	2	1	1	1	1
A12	Lubrificar enfardadeira L14	2	1	1	1	1
A13	Calibrar a balança varpe vp14a	2	3	1	1	2
A14	Inspeção de proteções de nr-12	1	1	3	1	1
A15	Substituição de cabos elétricos dos motores	2	1	3	1	1
A16	Tampa traseira solta e com cabos expostos	1	1	3	1	1
A17	Inspeccionar tomadas dos motores A e B	2	1	2	1	1
A18	Inspeção e reaperto na caixa de multa do	2	1	2	1	1
A19	Inspeção e limpeza nas tomadas	2	1	2	1	1

A20	Inspeção Esteira transportadora de fardos	3	2	1	1	1
A21	Ajustar Bandeja com folga	2	1	2	1	1

Fonte: A autora (2021)

Após a construção da matriz de decisão, o decisor estabeleceu os pesos para os critérios a partir do nível de importância que julgou necessário para cada critério. O decisor utilizou a função de preferência critério usual, que representa a função básica do PROMETHEE, onde o decisor não necessita definir parâmetros para sua intensidade de preferência.

Como abordado anteriormente como uma das etapas do método PROMETHEE V, foi realizada a ordenação das alternativas a partir da aplicação do PROMETHEE II, como resultado se obtém um *ranking* decrescente considerando o fluxo das alternativas. Os resultados dos fluxos líquidos de forma ordenada para cada alternativa podem ser visualizados na tabela 20:

Tabela 20 – Ranking das alternativas

Ranking	Alternativa	Φ
1	A7, A15	0,71571
3	A8, A14, A16	0,64371
6	A4	0,579895
7	A2, A3	0,53585
9	A17, A18, A19, A21	0,48736
13	A9	0,45035
14	A13	0,45036
15	A5, A6, A20	0,219
18	A10, A11, A12	0,122
21	A1	0,05

Fonte: A autora (2021)

Conforme o resultado obtido pelo PROMETHEE II, é possível perceber que a alternativa A7 e A15 apresentaram o maior fluxo líquido, podendo ser visualizadas na primeira colocação do *ranking*. A alternativa A1 foi avaliada com a pior posição no *ranking* passando a ocupar a última posição. É importante destacar que alguns fluxos líquidos obtidos apresentaram valores negativos, os fluxos líquidos negativos foram alterados com a atribuição do valor do menor fluxo e em seguida todos os fluxos são somados a uma constante de escala ϵ de pequeno valor (DE ALMEIDA; VETSCHERA, 2012). O resultado da Tabela 20 apresenta os fluxos líquidos transformados para valores positivos juntamente com o acréscimo

da constante de valor (0,05) para que a alternativa de menor fluxo não permanecesse com valor zero.

Como este segundo modelo introduz a ideia de obter um portfólio ótimo, considerando as restrições apresentadas de tempo e investimento apresentadas anteriormente, foram levantados os valores de custo demandado por cada atividade e tempo necessário para execução de cada atividade a depender da quantidade de operadores disponíveis. Dessa forma o tempo foi mensurado em hh (homem-hora). Esses dados são importantes para a aplicação no modelo de programação linear, realizado a partir do método PROMETHEE V. A tabela 21 compreende o levantamento realizado quanto as restrições.

Tabela 21 – Valores das restrições do problema

Alternativa	Restrição hora	Restrição de investimento
A7	3	R\$ 300,00
A15	1,8	R\$ 567,89
A8	1,8	R\$ 567,89
A14	6	R\$ 50,00
A16	1,5	R\$ 443,57
A4	8	R\$ 1.232,56
A2	1	R\$ 83,00
A3	2	R\$ 800,00
A17	0,8	R\$ 86,78
A18	1,7	R\$ 110,00
A19	1,5	R\$ 135,00
A21	1,9	R\$ 125,00
A9	0,8	R\$ 86,78
A13	2	R\$ 800,00
A5	1,4	R\$ 167,67
A6	3	R\$ 300,00
A20	1,7	R\$ 346,78
A10	1,3	R\$ 69,21
A11	1,95	R\$ 69,21
A12	3	R\$ 901,23
A1	0,75	R\$ 60,00

Fonte: A autora (2021)

Quanto ao valor do orçamento máximo disponível o decisor considerou um total de R\$ 4.000, com relação a quantidade de horas homem disponíveis foi considerado um total de 60 hh. Esses valores são inseridos no modelo de programação linear definido.

A partir da obtenção dos fluxos líquidos e determinação dos valores das restrições, os modelos de programação linear pode então ser apresentado, dessa forma a modelagem do problema pode ser representada da seguinte forma:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{21} \phi_i X_i \quad (5.1.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{21} T_i X_i \leq 60 \quad (6.1.1)$$

$$\sum_{i=1}^{21} C_i X_i \leq 4000 \quad (6.2.1)$$

$$X_i \in \{0,1\}$$

Com a modelagem do problema de programação linear, realiza-se a aplicação do método PROMETHEE V, para a obtenção do portfólio. O resultado da aplicação pode ser observado a seguir na tabela 22:

Tabela 22 – Resultado portfólio

Atividades	Atividades priorizadas
A7 Substituir cabos de ligação do motor	1
A15 Substituição de cabos elétricos dos motores	1
A8 Inspeção de proteções de nr-12	1
A14 Inspeção de proteções de NR	1
A16 Tampa traseira solta e com cabos expostos	1
A4 Apoio limpeza de exaustão - desmontagem	0
A2 Manutenção nas mordaças superior	1
A3 Manutenção nas mordaças	1
A17 Inspeccionar tomadas dos motores A e B	1
A18 Inspeção e reaperto na caixa de multa do	1
A19 Inspeção e limpeza nas tomadas	1
A21 Ajustar Bandeja com folga	1
A9 Calibrar balança varpe vp14b	1
A13 Calibrar a balança varpe vp14a	0
A5 Realizar a substituição da correia	1
A6 Realizar revisão mesa balança varpe	1
A20 Inspeção Esteira transportadora de fardos	0
A10 Lubrificar enchedeira L14B	0
A11 Tbm-3m-lub-mm-balan. Varpe L14	1

A12	Lubrificar enfardadeira L14	0
A1	Realizar pintura de todos os motores	0

Fonte: A autora (2021)

Como observado no resultado com a aplicação, as atividades com número um representam as atividades priorizadas e que farão parte do portfólio para serem executadas com maior urgência, pois obedecem às restrições de tempo e orçamento estabelecidas, permitindo obter o resultado ótimo. O portfólio obtido pelo modelo conseguiu otimizar as alternativas a partir das preferências definidas pelo decisor. Várias atividades foram priorizadas obedecendo os limites impostos pelas restrições e que gerou um valor máximo da função objetivo de 7,39404.

4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MODELOS

A partir dos resultados das aplicações dos modelos propostos neste trabalho, é possível destacar algumas considerações relevantes. Durante a aplicação os decisores destacaram alguns pontos interessantes, o primeiro decisor afirma que diariamente no contexto da manutenção da sua organização o setor é solicitado para tratamento de diversas demandas e em consequência disso, o volume de informação é bastante elevado. Dessa forma destacam que é imprescindível que exista uma forma estruturada que possa fornecer uma orientação, apoio a tomada de decisão e definição de políticas de manutenção mais adequadas. o decisor destacou que a ferramenta pode entregar um bom resultado para aplicações em situações específicas de demanda que ocorrem no cotidiano.

O decisor da segunda aplicação destacou que no contexto da sua empresa é fundamental a busca por uma maior assertividade nas atividades para reduzir impactos, que a aplicabilidade proposta pelo modelo apresenta uma abordagem interessante para a discussão no dia a dia da manutenção e melhor tomada de decisão.

Os decisores afirmam que o resultado se mostrou coerente com as decisões que geralmente são tomadas no dia a dia no setor de manutenção de forma que a aplicação foi de certa forma assertiva quanto as priorizações das atividades.

O problema estudado considera alguns critérios encontrados na literatura, com intuito de tornar o modelo proposto o mais realista possível. O presente trabalho se propõe a uma aplicação generalizada, de forma que os modelos podem ser aplicados nas empresas dos mais diversos setores, onde cada organização poderá fazer adaptações conforme os objetivos e necessidades a serem atendidas. Dessa forma os critérios propostos por esta pesquisa

consideram um cenário geral quanto a priorização das atividades de manutenção, no entanto cada empresa poderá adotar outros critérios além dos que foram apresentados por este trabalho ou até mesmo realizar adaptações nos critérios apresentados de acordo com a realidade da empresa.

Pode-se destacar que os modelos podem ser aplicados levando em consideração o período com que a organização realiza o seu planejamento da priorização de atividades, podendo ser diário semanal ou até mesmo mensal. Com isso é possível aplicar uma configuração de priorização da manutenção quando for preciso de acordo com as circunstâncias. Para uma aplicação correta dos modelos propostos é necessário que seja explorada a relação entre as metas da organização, priorização da manutenção e performance. Os modelos inserem uma abordagem sistemática que torna possível incluir fatores críticos para priorizar efetivamente a manutenção considerando as necessidades conflitos existentes.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a formulação de dois modelos multicritério considerando o problema dos executores de manutenção que necessitam de um modelo estruturado para a priorização adequada das atividades de manutenção. Os modelos foram aplicados em duas empresas diferentes localizadas no estado de Pernambuco. A empresa de aplicação do primeiro modelo está inserida no contexto logístico, realizando transportes de mercadorias diversas para os estados do Brasil. O segundo modelo foi aplicado em uma empresa do setor industrial, contexto mais comum quanto a práticas de manutenção. Este trabalho traz contribuições importantes para o processo de tomada de decisão considerando o contexto da manutenção, de modo que os executores possam ter acesso a um modelo estruturado para a priorização adequada de atividades de manutenção.

Através de uma revisão de literatura foram levantados os principais critérios considerados pelas organizações para conseguir obter uma priorização adequada de suas atividades de manutenção. Os critérios gerais levantados representam os objetivos das organizações. Os critérios levantados são genéricos, de forma a abranger a grande parte dos setores de negócio e que ao mesmo tempo as empresas possam ter um modelo estruturado para priorização de atividades e conseguir tomar melhores decisões. Algumas questões envolvendo o problema de decisão serão modificados de acordo com as preferências de cada decisor. Cada empresa deverá adaptar, modificar ou inserir novos critérios de acordo com o seu contexto objetivos e necessidades.

Foi apresentado através de duas aplicações, os problemas de priorização de atividades de manutenção enfrentados por duas empresas de ramos diferentes. A decisão de quais atividades devem ser priorizadas e de que forma é uma dificuldade enfrentada por muitas empresas que não possuem um procedimento estruturado para auxílio a tomada de decisão. Para a aplicação do primeiro modelo foi utilizado o método de elicitación flexível FITradeoff que demanda um menor esforço cognitivo do decisor exigindo apenas informação parcial, facilitando o processo para o decisor. Na segunda aplicação foi utilizado o conceito de portfólio para obtenção de um conjunto de atividades priorizadas que fariam parte do portfólio diário ou semanal, para tal foi utilizado o método PROMETHEE V, que utiliza a ideia do PROMETHEE II inserindo um modelo de programação linear para incluir as restrições necessárias.

Este estudo buscou contribuir com uma estruturação de um modelo de decisão multicritério que possa ser aplicado nas organizações dos mais diversos setores, melhorando o desempenho da área de manutenção e melhorando a tomada de decisão no qual na grande maioria das vezes é realizado de forma subjetiva.

Considerando o impacto econômico e ambiental é possível observar que com a utilização de um método estruturado para a priorização de ativos, os recursos são melhor aproveitados devido ao planejamento e atribuições de atividades no momento adequado, ocorre uma garantia de maior disponibilidade do sistema, o tempo de vida útil dos ativos aumenta e os custos são reduzidos ao evitar que atividades de grande impacto sejam executadas posteriormente.

Os modelos propostos apresentam uma grande vantagem por não se limitar aos critérios apresentados, podem ser inseridos ou retirados critérios de acordo com a necessidade da organização considerando a estrutura de preferência estabelecida pelo decisor.

Algumas limitações encontradas estão relacionadas a baixa quantidade de estudos referente a priorização de atividade de manutenções corretivas, a disponibilidade e capacidade de entendimento do decisor para utilização dos modelos e quando existe um baixo nível de maturidade da organização.

Pode-se afirmar que as principais contribuições desta pesquisa estão relacionadas ao apoio aos executores de manutenção e ao setor de manutenção, para que se tenha um melhor gerenciamento dos ativos da organização e tomada de decisão mais assertiva através de um modelo estruturado de priorizações de manutenção.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Através das aplicações realizadas os decisores forneceram alguns insights que podem ser destacados como sugestões para realização de trabalhos futuros a partir desta pesquisa.

Recomenda-se que o modelo possa ser inserido em um Sistema de Apoio a Decisão ou CMMS, para que o executor possua maior autonomia e melhor gestão das informações. Como sugestão os modelos posteriormente podem incorporar a divisão por áreas de execução dentro do próprio departamento de manutenção, ou seja, dividir as atividades por área elétrica, mecânica e outros existentes na organização.

REFERÊNCIAS

- AMADI-ECHENDU, J. E., BROWN, K., WILLETT, R., & MATHEW, J. Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management. *Engineering Asset Management Review*, 2010.
- ANDRUSCA, M. *et al.* Prioritization of maintenance activities from an electricity company. *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, v. 13, p. 1260–1265, 2012.
- BRAGLIA, M., GABBRIELLI, R., MARRAZZINI, M. Risk Failure Deployment: A novel integrated tool to prioritize corrective actions in failure mode and effects analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, v.37, n.2, p.433–450, 2020.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. *Promethee-Gaia, une Methodologie d'Aide à la Décision em Présence de critères Multiples*. Brxelles: Editions Ellipses, 2002.
- BELTON, V.; STEWART, T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. *Springer Science & Business Media*, 2002.
- BUDAI, G., R. DEKKER, AND R. P. NICOLAI. “Maintenance and production: A review of planning models.” *In Complex system maintenance handbook*, edited by K. A. H. Kobbacy and D. N. P. Murthy, p. 321–344, 2008.
- CAVALCANTE, C. A. V. Modelagem De Decisão Multicritério No Planejamento Da Manutenção Abordando Problemáticas De Escolha E Classificação. *Universidade Federal de Pernambuco*, p. 136, 2005.
- CHEW, M. Y. L., TAN, S. S., KANG, K. H. Building Maintainability - Review of State of the Art. *Journal of Architectural Engineering*, v.10, n.3, p. 80-87, 2004.
- CAN, G. F. An intuitionistic approach based on failure mode and effect analysis for prioritizing corrective and preventive strategies. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, v.28, n.3, p.130–147, 2018.
- DANTZIG, G. B. Discrete-Variable Extremum Problems. *Operations Research*, v.5, n.2, p. 266–288, 1957.
- DE ALMEIDA, A. T., DE ALMEIDA, J. A., COSTA, A. P. C. S., DE ALMEIDA-FILHO, A. T. “A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff”, *European Journal of Operational Research*, v. 250, p. 179-191, 2016.
- DE ALMEIDA, A.T. de. *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*, 1a Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

- DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; VETSCHERA, Rudolf. A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research*, v.219, n.1, p.198-200, maio 2012.
- DO CARMO MENDONÇA, T. RANGEL, L. A. D., SBRUZZI, E. F., NASCIMENTO, C. L. "Prioritization of maintenance equipment employing multicriteria decision aid," *2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*, p. 1-6,2018.
- EL-AKRUTI, K.; DWIGHT, R. A framework for the engineering asset management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 19, n. 4, p. 398–412, 2013.
- FACHIN, O. *Fundamentos de Metodologia*. 5ª ed, São Paulo: Editora Saraiva, 2005.
- FARHAN, J. FWA, T. F. Pavement maintenance prioritization using analytic hierarchy process. *Transportation Research Record*, p.12-24,2009.
- FREJ, E. A., DE ALMEIDA, A. T., COSTA, A. P. C. S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, v. 19, p. 1-22, 2019.
- FREJ, E. A., EKEL, P., & DE ALMEIDA, A. T. A benefit-to-cost ratio based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. *Information Sciences*, 545, 487-498, 2021.
- FOGLIATO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora GEN LTC. 2009.
- GHOUSHCHI, S. J., YOUSEFI, S., & KHAZAEILI, M. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures. *Applied Soft Computing*, 2019.
- HASTINGS, N. A. J. *Physical Asset Management*. London: Springer, p. 540. 2015.
- HE, Q., LI, H., BHATTACHARJYA, D., PARIKH, D. P., HAMPAPUR, A. Track geometry defect rectification based on track deterioration modelling and derailment risk assessment. *Journal of the Operational Research Society*, v.66, n.3, p.392–404, 2015.
- HIJES, F. C. G. DE L.; CARTAGENA, J. J. R. Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 91, p. 444–451, 2006.
- JI, B., PARK, H., JUNG, K., BANG, S. H., LEE, M., KIM, J., & CHO, H. A Component Selection Method for Prioritized Predictive Maintenance. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, p.433–440, 2017.
- KANG, T. H. A., FREJ, E. A., & DE ALMEIDA, A. T. Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, v.37, n.05, 2020.

KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: Função Estratégica*. 3.ed. ver. e ampl. - Rio de Janeiro: Editora Qalymark, /petrobras, 2009.

KHANLARI, A.; MOHAMMADI, K.; SOHRABI, B. Prioritizing equipments for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules. *Computers and Industrial Engineering*, v. 54, n. 2, p. 169–184, 2008.

LABIB, A. W., WILLIAMS, G. B., & O’CONNOR, R. F. An Intelligent Maintenance Model (System): An Application of the Analytic Hierarchy Process and a Fuzzy Logic Rule-Based Controller. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 49, n.7, p.745, 1998.

LABIB, A. W. A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.10. n.3, p. 191–202, 2004.

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 388p, 2001.

LARSON, C. F.; GRAY, E. W. *Project management: the managerial process*. 7. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

LIDÉN, T. Railway Infrastructure Maintenance - A Survey of Planning Problems and Conducted Research. *Transportation Research Procedia*, v.10, p.574–583, 2015.

LI, L., & NI, J. Short-term decision support system for maintenance task prioritization. *International Journal of Production Economics*, v.121, n.1, p. 195–202, 2009.

LOPES, I. S.; FIGUEIREDO, M. C.; SÁ, V. Criticality evaluation to support maintenance management of manufacturing systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 11, n. 1, p. 3–18, 2020.

MARCONI, A. M., LAKATOS, E.M. *Técnicas de Pesquisa*. 5.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

MÁRQUEZ, A. C., LEÓN, P. M., FERNÁNDEZ, J.F. G., MÁRQUEZ, C. P. AND CAMPOS, M. L. “The maintenance management framework: A practical view to maintenance management,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp.167-178, 2009.

MAVROTAS, G., DIAKOULAKI, D., CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: a combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, v.171, n.1, p.296-308, 2006.

MOORE, W. J., & STARR, A. G. An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities. *Computers in Industry*, v.57, n.6, p.595–606, 2006.

MOUSAVI, S. M., TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R., HEYDAR, M., & EBRAHIMNEJAD, S. Multi-Criteria Decision Making for Plant Location Selection: An

Integrated Delphi–AHP–PROMETHEE Methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v.38, n.5, p.1255–1268, 2012.

NETO, F. B., *et al.* Gestão de portfólio de produtos: práticas adotadas por uma empresa de base tecnológica de médio porte localizada na cidade de São Carlos-SP. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 8, n. 1, p. 67, 2013.

NEWBROUGH, E. T. Effective Maintenance Management – Organization, Motivation and Control in Industrial Maintenance, *McGraw-Hill Book Company*, United State of America, 1967.

NI, J. JIN, X. Decision support systems for effective maintenance operations. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 61, n. 1, p. 411–414, 2012.

OUERTANI, M. Z.; PARLIKAD, A. K.; MCFARLANE, D. Towards an Approach To Select. *International Journal of Computer Science and Applications*, v. 5, n. 3, p. 25–44, 2008.

OUMA, Y. O.; OPUDO, J.; NYAMBENYA, S. Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS for Road Pavement Maintenance Prioritization: Methodological Exposition and Case Study. *Advances in Civil Engineering*, v. 2015, p. 1–17, 2015.

PARDALOS PM, SISKOS Y, ZOPOUNIDIS C. *Advances in Multicriteria Analysis*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 1995.

PINJALA, S. K.; PINTELON, L.; VEREECKE, A. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. *International Journal of Production Economics*, v. 104, n. 1, p. 214–229, 2006.

PINTELON, L. M. GELDERS, L. F. Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, v. 58, p. 301–317, 1992.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. *The Standard for Portfolio Management*. 4a ed. USA: PMI Inc., 2017a.

RIJN. V. C., "A systems engineering approach to reliability, availability and maintainability", *Conference on Foundations of Computer Aided Operations*, Salt Lake City, UT, 1987.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. *Kluwer Academic Publishers*, 1996.

SENRA, P., LOPES, I., & OLIVEIRA, J. A. Supporting Maintenance Scheduling: A Case Study. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 2123–2130, 2017.

SOBRAL, J.; SOARES, C. G. Preventive Maintenance of Critical Assets based on Degradation Mechanisms and Failure Forecast. *IFAC-PapersOnLine*, v. 49, n. 28, p. 97–102, 2016.

SHEN, Q., LO, K.-K., & WANG, Q. Priority setting in maintenance management: a modified multi-attribute approach using analytic hierarchy process. *Construction Management and Economics*, v.16, n.6, p.693–702, 1998.

TRANCOSO, M. P., MARINHO, E. Z., HORA, H. R. M. Proposta de um modelo de priorização de atividades de manutenção baseado na metodologia TOPSIS. *Encontro Nacional de Modelagem Computacional*, Juiz de Fora, 2019.

USHER, S. J. H., KAMAL, A., SYED, W. H. Cost optimal preventive maintenance and replacement scheduling. *IEEE Transactions*, v30, p. 1121–1128, 1998.

VETSCHERA, R.; de ALMEIDA, A. T. A PROMETHEE-based approach to portfólio selection problems. *Computers & Operations Research*. v.39, n.5, p. 1010–1020, 2012.

VIANA, H. R. G. PCM, *Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 192p, 2002.

VIEIRA, I.S., COSTA. A. P. C. S. Modelo de priorização de atividades de manutenções corretivas em ativos físicos utilizando o método FITradeoff. *LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2021.

VINCKE, P. Multicriteria decision aid. New York: Editora John Wiley & Sons, 1992.

Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313, 2002.

WING, A. C. K.; MOHAMMED, A. H. BIN; ABDULLAH, M. N. BIN. A literature review on maintenance priority-conceptual framework and directions. *MATEC Web of Conferences*, v. 66, p. 7, 2016.

XAVIER, C. M. S., *et al.* Metodologia de Gerenciamento de Projetos METHODWARE®: abordagem prática de como iniciar, planejar, executar, controlar e fechar projetos. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Brasport, 2009.

ZOPOUNIDIS C, DOUMPOS M. Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. v.11, n.4-5, p. 167–86, 2002.