

RENAN FAVARÃO DA SILVA

**Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão  
de ativos físicos**

São Paulo  
2022

RENAN FAVARÃO DA SILVA

Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão  
de ativos físicos

Versão corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica de Projeto e de  
Fabricação

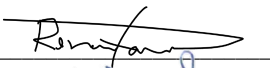
Orientador:  
Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de  
Souza

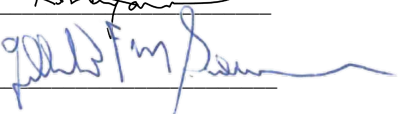
São Paulo  
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 14 de março de 2022

Assinatura do autor: 

Assinatura do orientador: 

#### Catálogo-na-publicação

da Silva, Renan Favarão  
Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos  
/ R. F. da Silva -- versão corr. -- São Paulo, 2022.  
190 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Engenharia mecânica 2. Gerenciamento de manutenção 3. Gestão de ativos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Aos meus pais Sueli e João e à minha irmã Natiele.

## **AGRADECIMENTOS**

Aproveito esta oportunidade para registrar minha gratidão a todos que me apoiaram durante esses anos de doutoramento. Cada um foi, em sua forma, fundamental para esse momento em minha vida.

Ao professor Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, agradeço por toda dedicação e apreço na orientação desta pesquisa e pelos projetos e oportunidades oferecidos que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos professores Dr. Fernando Tobal Berssaneti, Dr. Guilherme Eduardo da Cunha Barbosa, Dr. Adherbal Caminada Netto e Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante, agradeço pelas avaliações e contribuições dadas a este trabalho.

Aos amigos de laboratório, em especial ao Dr. Arthur Henrique de Andrade Melani e ao Dr. Miguel Angelo de Carvalho Michalski, agradeço pelo apoio e conhecimentos compartilhados.

Por fim, aos meus familiares e amigos, agradeço pelo incentivo, paciência, amor e todo apoio necessário para o sucesso nessa jornada.

A todos vocês, agradeço pela conquista.

## RESUMO

DA SILVA, Renan Favarão. **Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos**. 2022. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A disciplina contemporânea de gestão de ativos tem se destacado como um campo atuante de interesse nos últimos anos. Por meio dela, coordenam-se as atividades de uma organização para obter valor a partir de seus ativos. No entanto, por ser essencialmente multidisciplinar e complexa, a gestão de ativos ainda tem sido pouco explorada. Ademais, as diretrizes para o alinhamento de processos da organização com a gestão de ativos especificam o que precisa ser feito, mas não como fazê-lo. Em se tratando de ativos físicos, a manutenção representa um estágio do ciclo de vida de grandes impactos para o alcance dos objetivos organizacionais. Evidências mostram que uma manutenção deficiente pode resultar em falhas nos processos que podem colocar as pessoas em risco, acarretar perda de receitas e inviabilizar as operações. Nesse contexto, esta pesquisa visa elaborar uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Para tal, foram realizadas duas revisões integrativas da literatura a fim de embasar as considerações para a modelagem da estrutura proposta. Utilizou-se a abordagem da modelagem de processos seguindo as especificações da linguagem gráfica padronizada BPMN (*Business Process Model and Notation*). Na sequência, discutiu-se a aplicabilidade da estrutura proposta por meio de um estudo de caso que considerou o contexto operacional real de uma usina hidrelétrica. Logo, a partir dos resultados obtidos, espera-se contribuir com os profissionais e pesquisadores de manutenção na compreensão e na difusão de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção que esteja alinhada com as diretrizes internacionais da gestão de ativos. Além disso, essa pesquisa preenche uma lacuna na literatura de manutenção visto que aborda a disciplina de gestão de ativos, assim como a série ISO 55000, em profundidade no contexto do gerenciamento de manutenção.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de manutenção. Gestão de ativos. Estrutura. Manutenção. Ativos físicos. ABNT NBR ISO 55000.

## ABSTRACT

DA SILVA, Renan Favarão. **Maintenance management framework for physical asset management**. 2022. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The contemporary discipline of asset management has stood out as an active field of interest in recent years. Through it, the activities of an organization are coordinated to realize value from its assets. Nevertheless, as it is essentially multidisciplinary and complex, asset management has still been little explored. Furthermore, the guidelines for aligning the process of the organization with asset management specify what needs to be done, but not how to do it. Regarding physical assets, maintenance represents a stage in their life cycle of major impacts for achieving organizational objectives. Evidence shows that poor maintenance can result in process failures that can expose people to risk, cause loss of revenue and make operations unviable. In this context, this research aims to develop a proposal for maintenance management framework for physical asset management. To this end, two integrative literature reviews were carried out in order to support the considerations for the modeling of the proposed framework. The process modeling approach was used following the specifications of the standardized graphic language BPMN (Business Process Model and Notation). Then, the applicability of the proposed framework was discussed through a case study that considered the real operational context of a hydroelectric plant. Therefore, based on the results obtained, it is expected to contribute to maintenance professionals and researchers in understanding and disseminating a proposal for a maintenance management framework that is aligned with international asset management guidelines. In addition, this research fills a gap in the maintenance literature as it addresses the asset management discipline, as well as the ISO 55000 series, in depth in the context of maintenance management.

**Keywords:** Maintenance management. Asset management. Framework. Maintenance. Physical assets. ISO 55000.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 – Desenvolvimento das filosofias de manutenção .....	26
FIGURA 2.2 – Variações nas descrições dos estágios do ciclo de vida do ativo .....	38
FIGURA 2.3 – Documentos que englobam manutenção e gestão de ativos por ano .....	41
FIGURA 2.4 – Rede de coocorrência de palavras-chave das pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos .....	43
FIGURA 3.1 – Fluxograma das etapas da pesquisa .....	59
FIGURA 4.1 – Estratégia de pesquisa para identificar documentos sobre estruturas de gerenciamento de manutenção .....	64
FIGURA 4.2 – Estratégia de pesquisa para identificar as principais diretrizes para a gestão de ativos .....	74
FIGURA 4.3 – Número de organizações certificadas na norma ISO 55001 por setor .....	79
FIGURA 4.4 – Estrutura da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 no ciclo PDCA .....	81
FIGURA 4.5 – Relação entre termos-chave da gestão de ativos .....	82
FIGURA 5.1 – Proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 0) .....	94
FIGURA 5.2 – Processo “Definir escopo” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.1) .....	95
FIGURA 5.3 – Processo “Planejar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.2) .....	97
FIGURA 5.4 – Processo “Executar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.3) .....	100



FIGURA 5.5 – Processo “Avaliar desempenho” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.4) .....	102
FIGURA 5.6 – Processo “Melhorar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.5) .....	104
FIGURA 6.1 – Estrutura hierárquica dos sistemas da usina hidrelétrica .....	112
FIGURA 6.2 – Estrutura hierárquica dos subsistemas de uma unidade geradora ...	112
FIGURA 6.3 – Classificação da criticidade dos ativos físicos .....	118
FIGURA 6.4 – Etapas da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) .....	122
FIGURA 6.5 – Relação entre os domínios de avaliação de desempenho .....	141
FIGURA 6.6 – Aplicação do Diagrama causa e efeito para análise de causa .....	147

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Síntese da evolução da manutenção .....	31
TABELA 2.2 – Marcos do desenvolvimento da gestão de ativos .....	36
TABELA 2.3 – Protocolo de coleta de dados do mapeamento da literatura .....	40
TABELA 2.4 – Palavras-chave mais exibidas nos documentos coletados .....	42
TABELA 2.5 – Áreas-chave de pesquisa de manutenção e gestão de ativos .....	44
TABELA 4.1 – Protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção .....	63
TABELA 4.2 – Documentos incluídos na revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção .....	65
TABELA 4.3 – Comparação entre as estruturas de gerenciamento de manutenção .....	68
TABELA 4.4 – Comparação dos elementos nas estruturas de gerenciamento de manutenção .....	71
TABELA 4.5 – Protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de diretrizes para a gestão de ativos .....	73
TABELA 4.6 – Diretrizes para a gestão de ativos incluídas na revisão integrativa .....	75
TABELA 4.7 – Outras diretrizes de apoio aos processos e atividades do gerenciamento de manutenção .....	76
TABELA 4.8 – Comparação entre as diretrizes específicas de gestão de ativos .....	77
TABELA 4.9 – Série de normas nacionais ISO 55000 para gestão de ativos .....	80
TABELA 4.10 – Estrutura das normas ABNT NBR ISO 55001, 9001 e 14001 .....	83

TABELA 5.1 – Principais elementos para modelagem de processos com BPMN .....	93
TABELA 5.2 – Ferramentas aplicáveis à implementação da estrutura proposta .....	106
TABELA 5.3 – Correlação entre a norma ABNT NBR ISO 55001:2014 e os processos da estrutura proposta .....	109
TABELA 6.1 – Principais dados coletados e registrados da usina hidrelétrica .....	113
TABELA 6.2 – Critérios para definição do portfólio de ativos críticos .....	115
TABELA 6.3 – Escala para comparação entre pares de critérios .....	116
TABELA 6.4 – Matriz de comparação par a par para os critérios de criticidade .....	117
TABELA 6.5 – Ordenação de criticidade do portfólio de ativos físicos da usina .....	119
TABELA 6.6 – Desdobramento de objetivos do gerenciamento de manutenção .....	121
TABELA 6.7 – Aplicação da MCC para elaboração de planos de manutenção .....	124
TABELA 6.8 – Planos de ação para o gerenciamento de manutenção .....	127
TABELA 6.9 – Critérios e pesos relativos para priorização de OS .....	130
TABELA 6.10 – Ordens de serviço de manutenção avaliadas nos critérios de priorização .....	132
TABELA 6.11 – OS de manutenção classificadas após a aplicação TOPSIS .....	135
TABELA 6.12 – Desdobramentos dos indicadores de desempenho de manutenção .....	138
TABELA 6.13 – Exemplo de descrição completa para comunicação dos indicadores de gerenciamento de manutenção .....	140
TABELA 6.14 – Exemplos de eventos que podem acionar o processo “Melhorar” .....	144
TABELA 6.15 – Exemplo de diretrizes na política de análise de causa raiz .....	146

TABELA 7.1 – Publicações derivadas do escopo da pesquisa .....	155
TABELA A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica ...	172
TABELA B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção .....	185

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo de Hierarquia Analítica)
APR	Análise Preliminar de Risco
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelagem da Informação da Construção)
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i> (Modelo e Notação de Processos de Negócio)
BSC	<i>Balanced Scorecard</i> (Indicadores Balanceados de Desempenho)
BSI	<i>British Standards Institution</i> (Instituição de Padronização Britânica)
CBM	<i>Condition-based Maintenance</i> (Manutenção Baseada na Condição)
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i> (Sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção)
CP	Coefficiente de proximidade
FRACAS	<i>Failure Reporting and Corrective Action System</i> (Sistema de Relatório de Falhas, Análise e Ações Corretivas)
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise de Modo e Efeitos de Falha)
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise de Árvore de Falha)
GFMAN	<i>Global Forum on Maintenance &amp; Asset Management</i> (Fórum Global de Manutenção e Gestão de Ativos)
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i> (Estudo de Perigos e Operabilidade)
IAM	<i>The Institute of Asset Management</i> (Instituto de Gestão de Ativos)
IIMM	<i>International Infrastructure Management Manual</i> (Manual Internacional de Gestão de Infraestrutura)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
KPI	<i>Key performance indicator</i> (Indicador-chave de desempenho)
MBC	Manutenção Baseada na Condição
MBR	Manutenção Baseada em Risco

MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MCDM	<i>Multicriteria decision-making</i> (Tomada de decisão multicritério)
MPT	Manutenção Produtiva Total
MROMS	<i>Maintenance, repair and operations management system</i> (Sistema de gerenciamento de materiais de manutenção, reparo e operações)
MSS	<i>Management system standard</i> (Padrão de sistema de gestão)
NAMS	<i>New Zealand Asset Management Support</i> (Suporte de Gestão de Ativos da Nova Zelândia)
NBR	Norma Brasileira
NTA	<i>Nederlands Technische Afspraak</i> (Contrato Técnico Holandês)
OS	Ordem de serviço
PAS	<i>Publicly Available Specification</i> (Especificação Publicamente Disponível)
PCA	<i>Principal Component Analysis</i> (Análise de Componentes Principais)
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> (Planejar, Executar, Verificar, Agir)
RBM	<i>Risk-based Maintenance</i> (Manutenção Baseada em Risco)
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Manutenção Centrada na Confiabilidade)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
SAMP	<i>Strategic Asset Management Plan</i> (Plano estratégico de gestão de ativos)
SGA	Sistema de gestão de ativos
SPGF	Seleção da política de gestão de falha
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (Técnica para Ordem de Preferência por Semelhança com a Solução Ideal)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
UG	Unidade geradora
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (Linguagem de Modelagem Unificada)
WASPAS	<i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment</i> (Avaliação de Produto de Soma Agregada Ponderada)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	19
1.3 JUSTIFICATIVA .....	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
2 MANUTENÇÃO E A GESTÃO DE ATIVOS .....	24
2.1 HISTÓRICOS E INTERFACES ENTRE OS TEMAS .....	24
2.1.1 Desenvolvimento da manutenção .....	25
2.1.2 Desenvolvimento da gestão de ativos .....	32
2.1.3 As interfaces entre manutenção e gestão de ativos .....	36
2.2 O ESTADO DA ARTE .....	38
2.2.1 Mapeamento da literatura de manutenção na gestão de ativos .....	39
2.2.2 Principais contribuições do estado da arte .....	44
2.2.2.1 Manutenção de redes e sistemas elétricos .....	45
2.2.2.2 Manutenção de infraestrutura civis e de transportes .....	47
2.2.2.3 Manutenção de sistemas de água e esgoto .....	49
2.2.2.4 Gestão da informação de construções e instalações para manutenção .....	50
2.2.2.5 Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos .....	52
2.2.3 Considerações sobre o estado da arte .....	53
3 METODOLOGIA DE PESQUISA .....	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	57
3.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS E MÉTODOS DA PESQUISA .....	58
4 RESULTADOS DAS REVISÕES INTEGRATIVAS DA LITERATURA .....	62
4.1 ESTRUTURAS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....	62
4.2 DIRETRIZES PARA A GESTÃO DE ATIVOS .....	72
4.2.1 Série de normas ISO 55000 para a gestão de ativos .....	79
4.3 CONSIDERAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS .....	86

5 PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS .....	92
5.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS E ATIVIDADES DA ESTRUTURA .....	92
5.1.1 Definir escopo .....	95
5.1.2 Planejar .....	96
5.1.3 Executar .....	99
5.1.4 Avaliar desempenho .....	101
5.1.5 Melhorar .....	103
5.2 FERRAMENTAS APLICÁVEIS À IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA .....	105
5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA PROPOSTA .....	107
6 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA .....	111
6.1 DESCRIÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA E DO SEU GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....	111
6.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....	113
6.3 PLANEJAMENTO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	120
6.4 EXECUÇÃO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	128
6.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO .....	136
6.6 MELHORIA DO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....	142
6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICABILIDADE DA ESTRUTURA PROPOSTA .....	148
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	151
7.1 CONCLUSÕES .....	151
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	154
7.3 PUBLICAÇÕES DERIVADAS DA PESQUISA .....	154
REFERÊNCIAS .....	158
APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DOS ATIVOS FÍSICOS .....	172
APÊNDICE B – PRIORIZAÇÃO DAS ORDENS DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO .....	185



## 1 INTRODUÇÃO

Todas as organizações possuem e utilizam ativos físicos como instalações, equipamentos, maquinários e infraestrutura para gerar valor por meio da produção de produtos e prestação de serviços (DE SOUZA et al., 2021). Uma vez que esses ativos permitem que as organizações atinjam seus objetivos estratégicos e atendam às necessidades e expectativas das partes interessadas (*stakeholders*), tais como proprietários, acionistas, funcionários, organizações governamentais, fornecedores e clientes, uma gestão de ativos adequada tornou-se crucial para que as organizações continuem competitivas no mercado global (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2017). Além disso, tem-se procurado cada vez mais uma garantia de que a gestão de ativos proporcionará segurança, continuidade da operação e desempenho financeiro nas organizações (IAM, 2008a).

Pode-se dizer que a disciplina contemporânea de gestão de ativos pretende aprimorar a utilização dos ativos e que as tomadas de decisão sobre os ativos estejam alinhadas às necessidades da organização (KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019). Segundo a norma ABNT NBR ISO 55000:2014, a gestão de ativos envolve o equilíbrio de custos, oportunidades e riscos contra o desempenho desejado dos ativos, para alcançar os objetivos organizacionais durante as diferentes fases do seu ciclo de vida (ABNT, 2014a). Ou seja, isto inclui a determinação apropriada de quais ativos físicos adquirir ou criar, como operá-los e mantê-los da melhor forma e a adoção de opções ótimas de renovação, descarte e/ou restauração (IAM, 2008b).

Para Ihemegbulem e Baglee (2017), os desafios da intensa concorrência internacional e da globalização do mercado têm pressionado o gerenciamento de manutenção por melhores resultados na gestão de ativos físicos. Nas indústrias, a manutenção representa uma grande porcentagem das despesas operacionais e enfrenta desafios para aprimorar seus processos a fim de obter maior disponibilidade dos equipamentos. Além disso, evidências mostram que uma manutenção deficiente pode resultar em falhas nos processos que podem colocar as pessoas em risco, acarretar perdas de receitas e inviabilizar as operações (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2017), enquanto que uma manutenção bem gerenciada pode contribuir para o alcance da estratégia do negócio (HOLGADO; MACCHI; EVANS, 2020).

Neste contexto, o cenário e as discussões estabelecidas para o universo do gerenciamento de manutenção industrial são bem diferentes de alguns anos atrás. A manutenção por muito tempo foi vista apenas como uma despesa e, portanto, as suas ações deveriam ser minimizadas (BO, 2015). Esse contexto favoreceu tomadas de decisão de curto prazo, na contramão de um planejamento mais detalhado de longo prazo. No entanto, atualmente, a manutenção deixou de ser uma função de mera reparação para se tornar em uma das mais importantes áreas funcionais nas organizações (TAVARES; GOMES, 2015).

Em janeiro de 2014, todo o esforço e o envolvimento global da última década resultaram na publicação da série internacional de normas ISO 55000 para gestão de ativos pela Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization*, ISO). Com esse lançamento, surgiu um interesse global em investigar como a gestão de ativos pode melhorar o gerenciamento de manutenção, visto que a manutenção é um importante estágio do ciclo de vida dos ativos físicos.

## **1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

A gestão de ativos é uma atividade coordenada de uma organização pela qual é capaz de obter valor a partir dos ativos (ABNT, 2014a). Para Lima e Costa (2019), a gestão de ativos é, por essência, uma disciplina multidisciplinar e complexa, pois requer processos bem estabelecidos e controlados, recursos humanos treinados, gerenciamento eficaz de informações, integração entre áreas técnicas e gerenciais e liderança altamente comprometida. Ainda que essas particularidades, por si só, representem barreiras para a implantação e difusão da gestão de ativos físicos no contexto do gerenciamento de manutenção, outros pontos têm sido relatados por pesquisadores.

Bo (2015) reitera que a gestão de ativos ainda é incipiente, pouco explorada nas indústrias de manufatura e, para as organizações sem a demanda imediata de alinhamento dos requisitos, a probabilidade de alocação de tempo e recursos no assunto continua muito baixa. Segundo Ihemegbulem e Baglee (2016), embora a implantação do sistema de gestão de ativos (SGA) previsto na série internacional de normas ISO 55000 impulse a manutenção proativa dos ativos físicos levando a um

menor número de falhas, menos desperdícios e serviços melhorados, o assunto ainda é muito recente.

Na literatura, há poucas publicações acadêmicas que abordam as diretrizes da série ISO 55000 para a gestão de ativos (OKOH; SCHJØLBERG; WILSON, 2016). Além disso, nas pesquisas da área, é predominante o desenvolvimento de abordagens para monitorar e avaliar a condição dos ativos físicos a fim de melhorar as estratégias de manutenção nas indústrias de infraestrutura (DA SILVA; DE SOUZA, 2021). O aspecto organizacional do gerenciamento de manutenção para integrar essas abordagens em uma estrutura de trabalho alinhada com a gestão de ativos não tem sido amplamente discutido.

A esse fato adiciona-se que as diretrizes disponíveis para o alinhamento com a gestão de ativos não são específicas. A título de exemplo, a norma ABNT NBR ISO 55001:2014 explicita o que precisa ser feito, mas não como fazê-lo (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2016). Para Van den Hornet, Schoeman e Vlok (2013), as atividades que devem ser realizadas são especificamente mencionadas, mas o usuário final pode decidir como implementar tais requisitos. No entanto, a falta de prescrição de como esses requisitos devem ser cumpridos cria um cenário de dúvidas e dificuldades para muitas organizações (WIJNIA; DE CROON, 2015).

Nesse contexto, esta pesquisa visa responder aos seguintes questionamentos acerca do gerenciamento de manutenção no contexto da gestão de ativos físicos:

- a) Como o gerenciamento de manutenção tem se relacionado com a disciplina contemporânea de gestão de ativos?
- b) Quais processos e atividades são necessários para viabilizar uma estrutura de gerenciamento de manutenção alinhada à gestão de ativos e como são as interfaces entre si?

Por meio desses questionamentos, elaboram-se os objetivos que conduziram o tratamento da pesquisa.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral do trabalho é elaborar uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

Apesar do crescente interesse acerca da disciplina de gestão de ativos, o seu alinhamento com o gerenciamento de manutenção ainda não é totalmente abordado na literatura. A elaboração de uma proposta que considere as diretrizes da gestão de ativos e traduza seus requisitos técnicos para uma estrutura de gerenciamento de manutenção é um diferencial e uma contribuição para esse campo de pesquisa.

Para tanto, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar o estado da arte do gerenciamento de manutenção no contexto da disciplina de gestão de ativos;
- b) Compor e descrever uma proposta de estrutura<sup>1</sup> de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos;
- c) Identificar ferramentas quantitativas e qualitativas aplicáveis para apoiar a implementação da estrutura proposta;
- d) Avaliar a aplicabilidade da estrutura proposta considerando um contexto operacional real;
- e) Discutir a estrutura proposta e os achados da demonstração.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A relevância e dependência da gestão de ativos para o alcance dos objetivos organizacionais está relacionada com a importância dos ativos físicos para a organização, o tipo de indústria e o seu contexto organizacional (GFMAN, 2016a). Nos setores de infraestrutura com uso intensivo de ativos (*asset intensive*), tais como água e esgoto, gás, eletricidade, petróleo ou transporte, a gestão eficaz de ativos físicos tem realizado um papel cada vez mais importante na melhoria do desempenho dos negócios (KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019).

Além disso, a atual situação econômica global exige que os proprietários e gestores se ajustem ao contexto instável e encontrem novas maneiras de manter a estabilidade e criar vantagem competitiva. Nesse cenário, um dos principais atributos é a competitividade global que força as empresas a investir mais recursos no fortalecimento de seus processos produtivos e sistemas de apoio. Dessa forma,

---

<sup>1</sup> Nesta pesquisa, o termo "estrutura" foi utilizado como tradução para o termo em inglês *Process Framework*. Dessa forma, a sua aplicação está associada com a organização e disposição dos processos principais de um contexto representado, evidenciando as relações entre si.

estratégias para a gestão de ativos físicos e, por conseguinte, para o gerenciamento da manutenção são percebidas como fundamentais para a garantia de que os ativos físicos contribuam para o aumento da eficiência, disponibilidade e qualidade na organização (WISNIEWSKI; BLASZCZYK, 2018).

A gestão de ativos permite que uma organização obtenha valor a partir dos ativos no alcance de seus objetivos organizacionais. Segundo a ABNT NBR ISO 55000:2014, entre seus benefícios podem-se incluir a melhoria do desempenho financeiro, decisões informadas sobre investimentos em ativo, gerenciamento de risco, melhorias de serviços e produtos, responsabilidade social demonstrada, melhoria de imagem e da eficiência e eficácia da organização (ABNT, 2014a). Deste modo, discutir novas estruturas (*frameworks*) de gerenciamento de manutenção alinhadas à gestão de ativos mostra-se pertinente a esse campo de pesquisa e à temática deste trabalho.

Os gerentes de manutenção precisarão expandir seus conhecimentos e desenvolver habilidades que vão além do tradicional foco técnico a fim de contribuir com o conjunto de atividades necessárias para realizar valor a partir dos ativos físicos (GFMAN, 2016b). Embora a recente publicação da série internacional de normas ISO 55000 para gestão de ativos tenha contribuído para reforçar o crescente interesse pelo tema, os processos envolvidos estão em estágio inicial no debate científico e as soluções para apoiar a sua adoção em diferentes contextos industriais ainda estão em desenvolvimento (RODA; MACCHI, 2016). No Brasil, a produção científica e a difusão da gestão de ativos físicos é ainda mais escassa.

Ademais, os números globais da manutenção em território nacional sugerem necessidade de melhoria no gerenciamento de manutenção. A relação média da despesa total com manutenção por faturamento bruto correspondeu a cerca de 4,2% em 2017. Já a indisponibilidade operacional média atingiu 12,6% sendo que cerca de 65% do tempo indisponível é devido à manutenção. Por último, a aplicação de recursos nas atividades de manutenção corretiva representou cerca de 37% das horas totais (ABRAMAN, 2017). Em uma pesquisa anterior, conduzida com mais de 150 organizações no Brasil, a ABRAMAN constatou que somente cerca de 15% dos participantes afirmaram aplicar ferramentas e filosofias que apoiam a melhoria de resultados na manutenção (ex. Manutenção Centrada na Confiabilidade, MCC), 5S, Análise de Modo e Efeitos de Falha (*Failure Mode and Effects Analysis*, FMEA),

Análise de causa raiz (*Root Cause Analysis*, RCA), Manutenção Produtiva Total (MPT) e 6 sigma (ABRAMAN, 2013).

Deste modo, espera-se com o desenvolvimento desta pesquisa contribuir para o avanço na área de manutenção e para a disseminação da disciplina de gestão de ativos no Brasil. Ainda que evidências mostram que as práticas de gestão de ativos físicos contribuem de maneira significativa e positiva para o desempenho sustentável dos negócios (MALETIČ et al., 2018), a literatura de manutenção carece de estruturas de gerenciamento que considere esse disciplina. Logo, a elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção que esteja alinhada à gestão de ativos pode colaborar na compreensão desse assunto e viabilização da implementação em indústrias nacionais.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Para explorar de maneira mais eficaz a temática, o desenvolvimento deste texto está estruturado em sete capítulos. Neste primeiro, pontuam-se o cenário e as motivações para a realização da pesquisa, assim como apresentam-se os objetivos gerais e específicos. Os capítulos restantes seguem destinados, respectivamente, à fundamentação teórica, metodologia de pesquisa, revisões integrativas da literatura, apresentação da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos, avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta, e considerações finais, seguidas das referências e apêndices.

Dedica-se o Capítulo 2 para a fundamentação teórica e discussão sobre o estado da arte. Expõem-se os históricos e interfaces entre os temas de manutenção e gestão de ativos na Seção 2.1. Na Seção 2.2, discute-se o estado da arte por meio do mapeamento da literatura relacionada à manutenção e à gestão de ativos e suas principais contribuições. No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia de pesquisa em duas seções. A Seção 3.1 caracteriza a pesquisa quanto à abordagem, natureza, objetivos e procedimentos técnicos. Já a Seção 3.2 descreve as etapas e métodos empregados na pesquisa para o alcance de seu objetivo.

Na sequência, destina-se o Capítulo 4 para apresentar os resultados das revisões integrativas da literatura que embasaram as considerações para a elaboração da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão

de ativos físicos. Dessa forma, revisa-se a literatura acerca das estruturas de gerenciamento de manutenção na Seção 4.1 e das diretrizes para a gestão de ativos na Seção 4.2. Na terceira seção, expõem-se as considerações a serem seguidas na modelagem da proposta de estrutura que foram definidas a partir dos achados das revisões integrativas das duas seções anteriores.

A primeira seção do Capítulo 5 apresenta a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos e suas subseções detalham os cinco processos que integram essa estrutura: Definir escopo, Planejar, Executar, Avaliar desempenho e Melhorar. Já a Seção 5.2 discute uma relação de ferramentas aplicáveis ao apoio à implementação dos processos e atividades da estrutura proposta. Na Seção 5.3, apresentam-se considerações sobre a proposta de estrutura.

Em seguida, destina-se o Capítulo 6 para a avaliação da aplicabilidade da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção considerando o contexto de uma usina hidrelétrica. A Seção 6.1 introduz a organização do estudo de caso seguida da demonstração dos processos da estrutura proposta nas seções seguintes (6.2 a 6.6). Uma última seção é destinada para discutir a avaliação da estrutura proposta a partir dos resultados deste estudo de caso.

Por fim, dedica-se o sétimo e último capítulo para as considerações finais acerca do desenvolvimento da pesquisa. Dessa forma, revisam-se os objetivos inicialmente propostos e discutem-se os resultados alcançados por meio da metodologia de pesquisa. Além disso, apresentam-se recomendações para trabalhos futuros e a relação das publicações que foram derivadas do escopo desta pesquisa e desenvolvidas durante seu cronograma. Na sequência, apresenta-se a lista de referências citadas ao longo do trabalho e os apêndices.

## **2 MANUTENÇÃO E A GESTÃO DE ATIVOS**

Apresenta-se, neste capítulo, uma revisão da literatura a fim de sumarizar importantes conceitos e contribuições referentes à manutenção e à gestão de ativos. Na primeira seção, introduz-se a temática da pesquisa por meio de revisões históricas e discussão das interfaces entre os dois assuntos. Na sequência, revisa-se a literatura a fim de discutir o estado da arte das pesquisas que relacionam esses temas, identificando e analisando as suas áreas-chave e principais contribuições.

### **2.1 HISTÓRICOS E INTERFACES ENTRE OS TEMAS**

Instalações e equipamentos, por mais bem projetados, não permanecem seguros ou confiáveis se não houver manutenção (ARUNRAJ; MAITI, 2007). Por definição, o gerenciamento de manutenção engloba o planejamento, organização, implementação e controle das atividades de manutenção (HAROUN; DUFFUAA, 2009). No entanto, a manutenção era considerada um mal necessário e, só mais recentemente, vem sendo reconhecida pelas empresas como uma função estratégica nas organizações (APELAND; AVEN, 2000; XENOS, 2014).

As filosofias e as práticas de manutenção se desenvolveram acompanhando os contextos econômicos e tecnológicos ao longo do tempo. Para Arunraj e Maiti (2007), as técnicas para o gerenciamento de manutenção passaram por um grande processo de metamorfose nos últimos anos. Esse progresso tem sido motivado pelo crescimento da complexidade e variedade dos equipamentos e da conscientização dos impactos da manutenção no meio ambiente, na segurança, nos lucros do negócio e na qualidade dos produtos e serviços (KHAN; HADDARA, 2003).

Atualmente, a introdução da série internacional de normas ISO 55000 para gestão de ativos estabeleceu um novo paradigma para manutenção. Ativos físicos, tais como maquinários, linhas de produção e instalações, desempenham papéis indispensáveis na manufatura e precisam operar de forma confiável, segura e econômica (RUITENBURG; BRAAKSMA, 2017a). Logo, o surgimento da gestão de ativos como um importante campo de ação na indústria é um fato incontestável que tem dado atenção renovada ao gerenciamento de manutenção de equipamentos e de infraestrutura (DE LA FUENTE et al., 2018).



Dessa forma, nesta seção, contextualizam-se as evoluções históricas da manutenção e da gestão de ativos nas duas primeiras subseções e discutem-se as interfaces entre as temáticas na terceira subseção.

### **2.1.1 Desenvolvimento da manutenção**

Na literatura, é comum que os pesquisadores representem os progressos na manutenção por meio de gerações (MOUBRAY, 1997; COOKE, 2003; ARUNRAJ; MAITI, 2007; KARDEC; NASCIF, 2009; SIQUEIRA, 2014; GFMAN, 2016b). Para Siqueira (2014), cada geração “é caracterizada por um estágio diferente de evolução tecnológica dos meios de produção e pela introdução de novos conceitos e paradigmas nas atividades de manutenção”. Dessa forma, o uso de gerações evolutivas colabora com a compreensão e a caracterização dos paradigmas e progressos da manutenção ao longo do tempo.

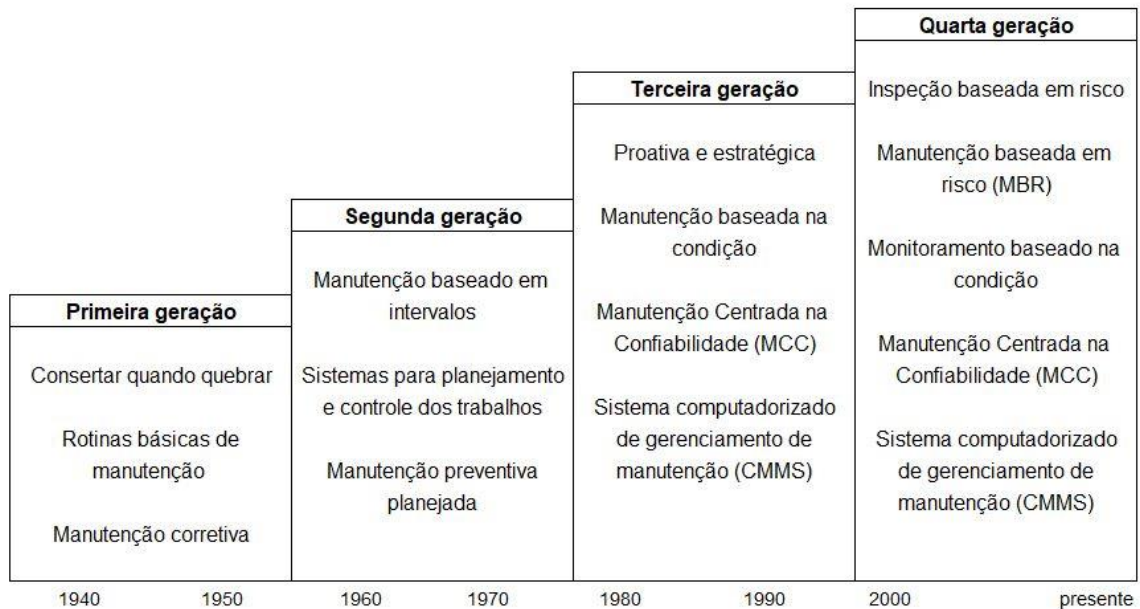
Siqueira (2014) representa o desenvolvimento dos principais tipos e filosofias de manutenção em uma evolução histórica com o uso de três gerações centradas na mecanização, na industrialização e na automatização, respectivamente. Em uma abordagem mais detalhada, Arunraj e Maiti (2007) elaboram uma representação baseada nas propostas de Moubray (1997) e Cooke (2003) que inclui uma geração recente, nomeada de quarta geração, conforme Figura 2.1.

Pode-se dizer que o primeiro período evolutivo surge com a intensificação da necessidade dos primeiros reparos dada a mecanização das indústrias com a primeira revolução industrial (TAVARES; GOMES, 2015). Antes das máquinas para produção em escala, existiam os artesãos que contavam apenas com mecanismos manuais, suas ferramentas e técnicas e eram responsáveis pelas pequenas tarefas de manutenção envolvidas (MAROCCO, 2013).

A primeira geração abrangeu o período a partir da revolução industrial no século XVIII até a Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Dado que as indústrias não eram altamente mecanizadas, a indisponibilidade, nessa época, não recebia tanta importância. Em outras palavras, a conjuntura econômica da época não fazia da produtividade uma questão de prioridade (KARDEC; NASCIF, 2009). Além disso, a maioria dos equipamentos era simples e muitos deles superdimensionado (MOUBRAY, 1997), embora o setor da indústria militar tenha se sofisticado muito no período entre guerras. Por fim, a sociedade também dependia pouco do desempenho

das indústrias, contribuindo para que a manutenção fosse dada apenas quando houvesse falhas.

Figura 2.1 – Desenvolvimento das filosofias de manutenção



Fonte: Adaptado e traduzido de Arunraj e Maiti (2007)

Ahuja e Khamba (2008) classificaram essa geração como a de “Manutenção de avarias (*Breakdown maintenance*)”, já Seow et al. (2016) utilizaram o termo “Operar até falhar (*Run to fail*)” para referenciar o primeiro período. Nessa estratégia de gerenciamento de manutenção, as atividades de manutenção, na forma planejada, praticamente inexistiam e o escopo limitava-se às tarefas preventivas de serviço, tais como limpeza e lubrificação de máquinas além de tarefas corretivas para reparação de falhas (SIQUEIRA, 2014).

A segunda geração inicia-se, aproximadamente, com o encerramento da Segunda Guerra Mundial e estende-se até meados da década de 70 (SIQUEIRA, 2014). Para Kardec e Nascif (2009), as pressões do período de guerra aumentaram a demanda por todos os tipos de produtos ao mesmo tempo em que diminuía a mão de obra industrial disponível. Isso impulsionou a mecanização e o aumento da complexidade das instalações industriais, tornando a indústria mais dependente do bom funcionamento das máquinas (KARDEC; NASCIF, 2009; ARUNRAJ; MAITI, 2007).

Evidencia-se, nesse período, uma necessidade de maior confiabilidade<sup>2</sup>, a fim de aumentar a produtividade (KARDEC; NASCIF, 2009). O objetivo básico tornou-se a maior disponibilidade<sup>3</sup> operacional e vida útil<sup>4</sup> dos equipamentos a uma baixa despesa de manutenção (SIQUEIRA, 2014). Esse contexto foi propício para o desenvolvimento de uma nova estratégia para o gerenciamento de manutenção cuja base é a prevenção de falhas para minimizar os impactos na produção.

Para Ahuja e Khamba (2008), a segunda geração é a de “Manutenção preventiva (*Preventive maintenance*)” e caracteriza-se por ser um tipo de avaliação física (*physical check up*) do equipamento a fim de prevenir avarias e prolongar a sua vida útil. Logo, difundiu-se o conceito de que as falhas dos equipamentos poderiam ser evitadas (KARDEC; NASCIF, 2009). Dentre as atividades previstas nessa estratégia, incluíram-se lubrificação de maquinários, limpezas, substituição de componentes, reapertos e ajustes (AHUJA; KHAMBA, 2008).

Outra característica dessa geração é que as atividades são baseadas em intervalos definidos (SEOW et al., 2016). Em outras palavras, as intervenções de manutenção são periódicas com base, por exemplo, no tempo de operação ou nos ciclos de produção. Para tal, esse tipo de manutenção depende da probabilidade estimada que o equipamento irá falhar ou da experiência na deterioração do desempenho em um intervalo específico (AHUJA; KHAMBA, 2008).

Em meados da década de 70, essas atividades foram organizadas e integradas pela Manutenção Produtiva Total (MPT), do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM) (SIQUEIRA, 2014). Introduzida por Seiichi Nakajima no Japão em 1971, a MPT surgiu de suas observações da manutenção preventiva americana na década de 50 e das visitas às empresas americanas e europeias nos anos 60 (NAKAJIMA, 1988). Desde então, a MPT passou por aprimoramentos ao longo das últimas década, tendo suas próprias gerações. Para Xenos (2014), a MPT pode ser entendida como a aplicação de diversos princípios à manutenção a fim de melhorar os fatores econômicos da produção, garantindo melhor utilização e alta produtividade dos equipamentos com despesas mais baixas.

---

<sup>2</sup> Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo (ABNT, 1994).

<sup>3</sup> Disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado (ABNT, 1994).

<sup>4</sup> Vida útil é o intervalo de tempo desde o instante em que um item é colocado pela primeira vez em estado de disponibilidade até o instante em que a intensidade de falha se torna inaceitável ou até que o item seja considerado irrecuperável em estado de falha (ABNT, 1994).

Cabe ressaltar que, na segunda geração, as despesas de manutenção tornaram-se altas quando comparadas em relação a outras despesas operacionais (ARUNRAJ; MAITI, 2007), visto que atividades periódicas foram incluídas no escopo da manutenção do equipamento. Esse aumento nas despesas contribuiu para o desenvolvimento de sistemas de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) (KARDEC; NASCIF, 2009). Para Tavares e Gomes (2015), o tempo gasto nas avaliações preventivas, que muitas vezes era maior que a execução dos reparos, colaborou para o desenvolvimento do PCM como um órgão de assessoramento no gerenciamento de manutenção.

A terceira geração contemplou o período entre meados da década de 70 até final dos anos 90. Para Siqueira (2014), essa geração evoluiu dadas as exigências de uma indústria em crescente automatização, iniciada a partir de 1975, e a crescente dependência da sociedade dos processos industriais, reflexo do consumo em larga escala de produtos industrializados. O efeito de uma paralisação na produção, que diminui a capacidade produtiva e aumenta as despesas operacionais, nesse período, tem efeitos agravados dada a tendência mundial de aplicação de sistemas enxutos na manufatura (por exemplo, *just-in-time*) (KARDEC; NASCIF, 2009).

Nos anos 80, os conceitos da Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management*, TQM) e da melhoria continuada se difundiram e, posteriormente em 1987, resultaram na primeira edição da norma internacional ISO 9001 para sistemas de gestão de qualidade. Para Bo (2015), nos anos 90, com as integrações de sistemas e a introdução do *Balanced Scorecard* (BSC), novas ideias à manutenção industrial emergiram. Foi nesse período em que os conceitos de melhoria de manutenção planejada, melhores práticas de produção, indicadores de desempenho e padrões de qualidades influenciaram a manutenção (BO, 2015; TAVARES; GOMES, 2015).

Com a introdução da automatização, as falhas dos sistemas automáticos inseriram efeitos sociais, além de econômicos, em serviços essenciais como saúde, telecomunicações, energia, transporte público, entre outros (SIQUEIRA, 2014). Para Cooke (2003), a terceira geração é, tipicamente, caracterizada por um crescimento na complexidade das plantas, pela aceleração do uso da automatização, pela introdução do sistema enxuto de produção e por uma demanda crescente em padronização e qualidade dos produtos e serviços. Esse contexto contribui para fortalecimento de estratégias de manutenção com base no monitoramento da condição dos equipamentos.

Nesse período, foi predominante o desenvolvimento da “Manutenção Preditiva” para a estratégia da Manutenção Baseada na Condição (MBC) (do inglês, *Condition-based Maintenance*, CBM). Nessa abordagem, por meio de técnicas preditivas, realizam-se o monitoramento e acompanhamento de parâmetros de condição a fim de identificar a necessidade de correção nos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2009). Logo, quando um ou mais parâmetros alcançam um nível predeterminado de deterioração, intervenções de manutenção são planejadas para restaurar o equipamento a uma condição desejada. Em outras palavras, o ativo físico passa por manutenção somente quando existem evidências diretas de que a deterioração aconteceu (AHUJA e KHAMBA, 2008). É uma mudança de paradigma em relação às manutenções preventivas que utilizavam como base intervalos determinados para o planejamento das intervenções de manutenção.

Kardec e Nascif (2009) elencaram outras características relacionadas à manutenção que estiveram presentes na terceira geração. Para os autores, o avanço da informática permitiu avanços nos computadores pessoais e o desenvolvimento de *softwares* para o PCM, a exemplo do Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção (do inglês, *Computerized Maintenance Management System*, CMMS). Além disso, o conceito de confiabilidade começa a ser cada vez mais aplicado na engenharia e na manutenção e torna-se requisito para novos projetos.

Cabe ressaltar, que foi durante essa geração que a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (do inglês, *Reliability Centered Maintenance*, RCM) teve sua origem na indústria aeronáutica americana. Para Siqueira (2014), a MCC fornece um método estruturado para selecionar as atividades de manutenção que é aplicável a qualquer sistema, independente da tecnologia, em que se deseja manter qualquer funcionalidade. Devido à rápida disseminação da MCC além da aviação, esforços internacionais para normalização resultaram nas primeiras normas na década de 90, a exemplo da SAE JA1011 em 1995 (SIQUEIRA, 2014).

A quarta e atual geração, por fim, representa o período mais recente do gerenciamento de manutenção cujo início data do final dos anos 90 e início dos anos 2000. Para Kardec e Nascif (2009), algumas expectativas existentes na geração anterior ainda estão presentes na atual geração. Segundo os autores, a disponibilidade continua sendo um dos mais importantes indicadores de desempenho da manutenção e a confiabilidade como foco para os equipamentos.

Para Arunraj e Maiti (2007), essa geração caracteriza-se, principalmente, pela inserção das atividades baseadas em riscos<sup>5</sup>, além da MCC e MBC. A evolução da conscientização da preservação do meio ambiente e da garantia de saúde, assim como a segurança das pessoas envolvidas nos processos industriais e o consumo de produtos e serviços avançou durante a geração anterior (SIQUEIRA, 2014). Foi na década de 1990 que a filosofia de Manutenção Baseadas em Risco (MBR), do inglês *Risk-based Maintenance* (RBM), surgiu, ganhando popularidade nas atividades de inspeção e manutenção nos anos 2000 (ARUNRAJ e MAITI, 2007).

Ao considerar os riscos na MBR, integra-se a segurança nas tomadas de decisão do gerenciamento de manutenção. Essa abordagem contempla a análise da probabilidade e da consequência em vários estágios da MBR, buscando responder algumas questões tais como: o que pode dar errado levando o sistema a falhar? De quais formas isso pode dar errado? Quão provável é sua ocorrência? E quais seriam as consequências caso isso aconteça? (KHAN; HADDARA, 2003). Para Khan e Haddara (2003), essa abordagem visa reduzir o risco global da falha, ou seja, em áreas de médios e altos riscos, uma manutenção focada é necessária. Enquanto que em baixos riscos, os esforços podem ser reduzidos contribuindo com as finanças.

Segundo Kardec e Nascif (2009), as práticas de manutenção preditiva e monitoramento de condição de equipamento são cada vez mais utilizadas a fim de obter menos intervenções na produção na quarta geração. Mais recentemente, a incorporação de técnicas de inteligência artificial na manutenção, tais como os algoritmos de aprendizado de máquinas (*machine learning*), tem contribuído para o aprimoramento dos processos de detecção, diagnose e prognóstico de falhas (ex. Trappey et al., (2015), Žarkovic e Stojkovic (2017) e Melani et al., (2021)). Como consequência, observa-se uma tendência decrescente do uso das manutenções preventivas ao mesmo tempo que a quantidade de manutenções corretivas não planejadas reflete a ineficácia do gerenciamento de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Por fim, cabe destacar que foi durante esta última geração que a disciplina de gestão de ativos foi formalmente conceituada (WIJNIA; DE CROON, 2015) e impactou a percepção do papel da manutenção para o alcance dos objetivos estratégicos das organizações. Desde então, objetivos para gestão de ativos físicos são estabelecidos

---

<sup>5</sup> Risco é o efeito da incerteza nos objetivos e, muitas vezes, expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento e a probabilidade de ocorrência associada (ABNT, 2009).

de modo consistente e alinhados com os objetivos organizacionais. Em seguida, esses objetivos são desdobrados em objetivos para os diferentes estágios do ciclo de vida dos ativos, como a manutenção. Em outras palavras, o gerenciamento de manutenção começou a ser alinhado com os resultados do negócio e influenciado pelas boas práticas e diretrizes para a gestão de ativos físicos.

Dada a discussão das quatro gerações da manutenção, uma síntese desse processo evolutivo é exposta na Tabela 2.1. Adaptada de Kardec e Nascif (2009), destacam-se as expectativas em relação à manutenção e às técnicas e suportes de manutenção para cada geração.

Cabe notar, portanto, que a função da manutenção passou por sérias mudanças nas últimas décadas e vai além da percepção tradicional do papel da manutenção de consertar coisas (AHUJA; KHAMBA, 2008). Uma vez que o desenvolvimento da manutenção foi exposto e discutido, a contextualização da gestão de ativos é feita de forma análoga na próxima subseção.

Tabela 2.1 – Síntese da evolução da manutenção

(continua)

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO									
Primeira geração		Segunda geração		Terceira geração		Quarta geração			
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
	Expectativas em relação à manutenção	Consertar após a falha		Aumento de disponibilidade Maior vida útil do equipamento		Maior confiabilidade e disponibilidade Melhor relação custo-benefício com manutenção Preservação do meio ambiente		Maior confiabilidade e disponibilidade Melhor relação custo-benefício com manutenção Preservação do meio ambiente e segurança Alinhar com os resultados do negócio	

Tabela 2.1 – Síntese da evolução da manutenção

(conclusão)

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO									
Primeira geração			Segunda geração		Terceira geração		Quarta geração		
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
	Técnicas de manutenção e apoio	Manutenção corretiva Habilidades voltadas para o reparo		Manutenção preventiva com base em intervalos Planejamento manual Computadores grandes e lentos		Manutenção preditiva Computadores pequenos e rápidos para planejamento Software potentes Projetos e análises voltados para confiabilidade		Manutenção preditiva Aprimoramento dos monitoramentos da condição Manutenção e inspeção baseada em risco Melhoria da manutenção e inteligência artificial Fortalecimento das análises de falhas Manutenção para a gestão de ativos	

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

### 2.1.2 Desenvolvimento da gestão de ativos

Desde que os ativos físicos são parte do portfólio de uma organização, algum nível de desempenho era esperado deles (CALIXTO, 2016). Logo, a gestão de ativos não é uma ideia que veio do acaso, mas resultado de décadas de novos pensamentos que levaram ao estado atual, passando, inclusive, por momentos de indefinição (BO, 2015). Mehairjan et al. (2012) reiteram que, embora pareça recente, a gestão de ativos é, de fato, uma disciplina de 40 a 50 anos que veio evoluindo ao longo dos anos.

As primeiras referências sobre o assunto datam de meados da década de 70 pelo nome de terotecnologia (WIJNIA; DE CROON, 2015). Segundo Kelly e Harris (1978), o termo está associado à prática de otimização da despesa total de manutenção ao longo da vida do equipamento. Atualmente, pode-se dizer que a gestão de ativos vai além e contempla as atividades que produzem valor a partir dos ativos de uma organização. De maneira prática, engloba-se tudo aquilo que é aplicável



às atividades com impactos diretos sobre os ativos, tais como aquisição, projeto, operação, manutenção, modificações e descarte, e às atividades de suporte (WOODHOUSE, 2018). No passado, entretanto, o contexto de aplicação da gestão de ativos era bem diferente do atual.

O setor de serviços financeiros usa o termo há muitas décadas para descrever o processo de decisões entre diferentes opções de investimento, seu retorno financeiro, segurança e risco (WOODHOUSE, 2014). Consequentemente, até o final da década de 80, a gestão de ativos estava associada a essa área de economia de negócios (*business economics*). Nesse período, o termo relacionava-se à discussão de como gerenciar investimentos, principalmente, no setor financeiro (RENWICK, 1969; WALKER, 1972; FOLEY; HELLWIG, 1975; MELOY, 1982; PHILIPPATOS; CHRISTOFI, 1984; HULLEY, 1985; SZEGÖ, 1986).

Nos anos 90, a gestão de ativos começou ser associada, também, ao planejamento e a manutenção da condição e do desempenho de equipamentos e de infraestruturas (BRITTON; RUMSEY, 1990; LINDLEY, 1992). Com o uso do termo além do contexto financeiro e de negócios, o número de publicações científicas sobre o assunto tornou-se crescente (WIJNIA; DE CROON, 2015). As áreas de Engenharia (*Engineering*), Recursos Hídricos (*Water Resources*) e Ciências Ambientais (*Environmental Sciences*) passaram a abordar a gestão de ativos impulsionadas pela abertura de capital nos setores de água e saneamento e, também, do setor elétrico entre o final dos anos 80 e início dos anos 90 na Inglaterra e Gales.

No setor de água e saneamento, as publicações foram impulsionadas pela necessidade de orientações e melhores práticas de gestão de ativos (BRITTON; RUMSEY, 1990; LINDLEY, 1992; GARDINER, 1994; LINDLEY; DAVIES, 1995; FENNER; SWEETING, 1999) e modelos para lidar com a deterioração dos ativos físicos do setor (METCALFE, 1991; JARVIS; HEDGES, 1994; FREEMAN et al., 1996; CARNELL et al., 1999). Essas demandas também se refletiram nas publicações que abordaram a gestão de ativos no contexto do setor elétrico nesse período (SIMPSON, 1994; TABORS, 1994; BEEHLER, 1997; BOOTH et al., 1997; HOSKINS; STRBAC; BRINT, 1999; MORTON, 1999). Foi também nessa década, em 1994, que se estabeleceu o Instituto de Gestão de Ativos (*The Institute of Asset Management*, IAM), agrupando diversas empresas interessadas em compartilhar experiências e melhores práticas (TAVARES; GOMES, 2015).

Em paralelo, dada as ampliações de infraestrutura ao redor do mundo, o paradigma do setor começa a migrar da construção para manutenção, reparo e gestão das instalações (PARK; PARK; LEE, 2016). Além disso, incidentes de grandes proporções marcaram esse período, tais como o desastre industrial de Bophal em 1984, o acidente nuclear de Chernobyl em 1986, a explosão da plataforma de petróleo Piper Alpha em 1988. Logo, na década de 90, os negócios foram tornando-se conscientes da gestão de ativos e, embora o assunto não estivesse bem definido à época, já parecia haver um consenso sobre a interdisciplinaridade (WIJNIA; DE CROON, 2015).

A demanda crescente pelo tema levou ao desenvolvimento de várias diretrizes, relatórios e melhores práticas em gestão de ativos que refletiam o trabalho pioneiro da indústria, acadêmicos e entidades organizadas relevantes nos países desenvolvidos (KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019). Nos anos 90, destacam-se as normas para planejamento e gerenciamento de todo o ciclo de vida dos ativos físicos do setor de petróleo e gás no Reino Unido (WOODHOUSE, 2014) e, posteriormente, a introdução do Manual Internacional de Gestão de Infraestrutura (*International Infrastructure Management Manual (IIMM)*) pela Austrália e Nova Zelândia no ano 2000. No entanto, a gestão de ativos só foi totalmente conceituada por meio de requisitos formais com a publicação da Especificação Publicamente Disponível 55 (PAS 55) cujo desenvolvimento foi conduzido pelo IAM, em colaboração com Instituição Britânica de Normas (*British Standards Institution (BSI)*), em 2004 (WIJNIA; DE CROON, 2015). A publicação pode ser considerada o primeiro marco para a realização de uma gestão de ativos estruturada (BARRETO; COUTO, 2019).

Segundo Hodkiewicz (2015), no início dos anos 2000, havia muitas práticas e ideias em torno do assunto de gestão de ativos, contudo o compartilhamento desse conhecimento entre diferentes setores (ex. energia, saneamento, rodoviário, etc.) era complicado pelo uso de diferentes terminologias, definições e processos. Acadêmicos e consultores, que se movimentavam entre os setores, viam que, em muitos casos, as diferenças existentes eram artificiais e poderia haver aprendizado a partir de setores individuais. Esse pensamento promoveu o desenvolvimento da PAS 55 pelo IAM com o BSI e 49 organizações de 10 países (WOODHOUSE, 2014).

Assim, tem-se que a PAS 55:

“foi inicialmente publicada em 2004 em resposta à demanda da indústria por um padrão de gestão de ativos. É aplicável a qualquer organização na qual os ativos físicos são um fator-chave ou crítico para o atingimento de suas metas de negócio. A revisão de 2008 reflete o crescente consenso internacional sobre boas práticas exigidas na gestão de tais ativos físicos” (IAM, 2008b).

Em 2009, usando a PAS 55 como referência, o BSI iniciou o projeto para produzir um padrão Internacional formal através da Organização Internacional de Padronização (*International Organization for Standardization*, ISO) com a colaboração internacional. Segundo Way (2013), 31 países participaram do comitê de projeto da norma como membro efetivo e 12 como observadores. O desenvolvimento da série de normas foi aprovado em 2010 e três normas internacionais (ISO 55000, 55001 e 55002) compuseram a série internacional ISO 55000 para gestão de ativos, publicadas em 2014 (HODKIEWICZ, 2015).

O Brasil, representado pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), participante do Fórum Global de Manutenção e Gestão de Ativos (*Global Forum on Maintenance & Asset Management*, GFMAN), juntamente com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), teve colaboração na criação dessa série de normas (TAVARES; GOMES, 2015). Além disso, cabe ressaltar que essas três normas são particularmente destinadas para gerenciar ativos físicos em organizações de todos os tipos e tamanhos, embora também possam ser aplicadas a outros tipos de ativos (ABNT, 2014a, 2014b, 2020).

Desde a publicação dessa série, somente a norma ABNT NBR ISO 55002:2020 passou por um processo de revisão. A sua segunda edição foi disponibilizada em inglês em 2018, sendo traduzida para o português e publicada em abril de 2020 (ABNT, 2020). O documento mantém o escopo da edição anterior, mas reorganiza as informações por meio de novas subseções, incorpora novos anexos sobre conceitos transversais presentes ao longo do documento e esclarece os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para os diferentes domínios de gestão de ativos, ou seja, portfólio de ativos, gestão de ativos e sistema de gestão de ativos.

Além disso, cabe destacar que, em setembro 2019, uma quarta norma foi incluída na série ISO 55000 para gestão de ativos. A norma ABNT NBR ISO 55010:2021 é outro documento de caráter orientativo que fornece diretrizes para o alinhamento entre funções financeiras e não financeiras na gestão de ativos. Essa última norma também foi traduzida pela ABNT e disponibilizada nacionalmente em português apenas em maio de 2021 (ABNT, 2021).

Com a finalidade de destacar os principais marcos do processo evolutivo da gestão de ativos, uma síntese é exposta na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Marcos do desenvolvimento da gestão de ativos

até 1989	1990 a 1999	2000 a 2009	2010 a 2019
<p><b>Década de 70:</b> Surge a terotecnologia com práticas aplicáveis aos ativos físicos na fase de manutenção (instalação, comissionamento, manutenção e substituição)</p> <p><b>Até final da década de 80:</b> O termo gestão de ativos estava associado ao setor financeiro (<i>business economics</i>)</p>	<p><b>Década de 90:</b> A gestão de ativos começou a ser associada ao planejamento e manutenção da condição e do desempenho de ativos físicos e de infraestrutura</p> <p>Demanda crescente por boas práticas e diretrizes na abordagem da gestão de ativos ao longo de todo ciclo de vida</p>	<p><b>2004 a 2008:</b> Publicação da PAS 55 pelo IAM e BSI (primeira versão em 2004 e segunda em 2008) para a gestão do ciclo de vida do ativo</p> <p><b>2009:</b> Definição da PAS 55 como referência para o desenvolvimento de padrão internacional</p>	<p><b>2010 a 2013:</b> Desenvolvimento da série internacional de normas ISO 55000 para gestão de ativos pelo comitê técnico da ISO (ISO/CT 251)</p> <p><b>2014:</b> Lançamento da série internacional de normas ISO 55000 (No Brasil, ABNT NBR ISO 55000, 55001 e 55002)</p> <p><b>2018:</b> Publicação da segunda versão da norma ISO 55002 (No Brasil em 2020)</p> <p><b>2019:</b> Publicação da norma ISO 55010 (No Brasil, em 2021)</p>

Fonte: Autoria própria

Por fim, cabe ressaltar que as boas práticas de gestão de ativos evoluíram de muitas fontes, convergindo nos últimos anos para aumentar o consenso internacional. (WOODHOUSE, 2014). A publicação da série internacional ISO 55000, em 2014, alterou fundamentalmente o panorama da gestão de ativos físicos e fez emergir uma nova era de avanço profissional no campo (KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019).

### 2.1.3 As interfaces entre manutenção e gestão de ativos

Uma vez que a manutenção e a gestão de ativos foram contextualizadas por meio de suas evoluções históricas, é pertinente discutir as interfaces entre as duas temáticas nessa subseção.

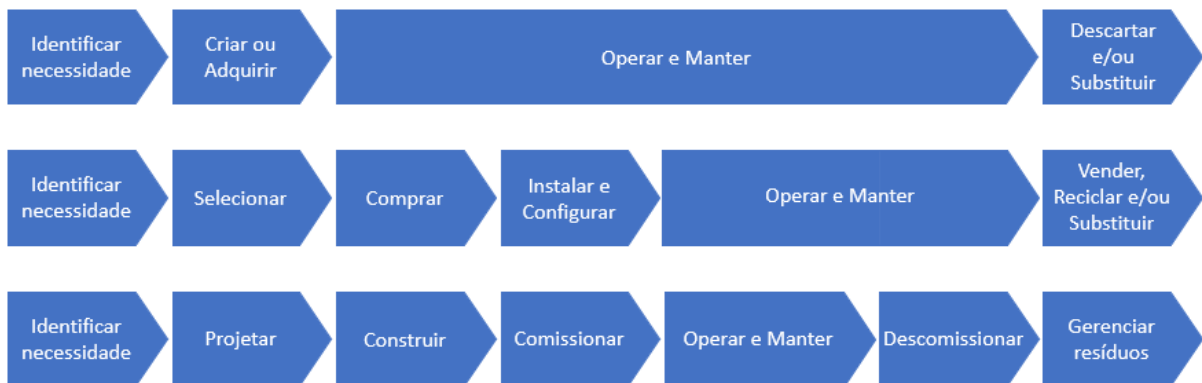
A manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo a supervisão, que se destinam a manter um item, restaurá-lo ou substituí-lo para que esse seja capaz de executar suas funções requeridas. Já o gerenciamento de manutenção consiste no processo de tomadas de decisão que alinham as entregas dessas ações de manutenção com os objetivos e estratégias corporativos (GFMAN, 2016b). Em outras palavras, entende-se por gerenciar a manutenção o processo de liderar a função manutenção e seus recursos na direção de seus objetivos e estratégias estabelecidos (MÁRQUEZ, 2007).

Em contrapartida, a gestão de ativos vai além do que atuar sobre os ativos, mas usá-los para entregar valor e alcançar os objetivos estratégicos da organização (IAM, 2015). Com a aplicação da gestão de ativos ao longo de todo ciclo de vida dos ativos, visa-se maximizar essa realização de valor (RUITENBURG; BRAAKSMA, 2017b). Segundo o IAM (2015), essa visão ampla e estratégica é um diferencial da disciplina gestão de ativos em relação a outras abordagens de gestão que considera estágios do ciclo de vida de forma isolada. Por princípio, o ciclo de vida inclui todos os aspectos da gestão de ativos desde sua concepção inicial até seu descarte.

Na prática, há muitas variações para as nomenclaturas usadas nos estágios do ciclo de vida e atividades associadas a cada estágio podem variar em diferentes setores da indústria, conforme as exemplificações expostas na Figura 2.2. A abordagem da gestão de ativos, portanto, engloba o gerenciamento de manutenção apenas como uma das fases da gestão do ciclo de vida do ativo. No entanto, para o GFMAN (2016a), a manutenção é uma das principais alavancas para obter resultados de negócios uma vez que cerca de dois terços do total do custo do ciclo de vida do ativo é consumido nas fases de operação e manutenção.

Cabe pontuar que algumas entidades ainda consideram a gestão de ativos físicos como apenas um termo mais focado da área de negócios para o gerenciamento de manutenção. No entanto, isso muda quando perceberem o impacto e as interdependências do assunto em toda a organização (DAOUD et al., 2014). Esse conceito errôneo é comum e já foi relatado por outros pesquisadores (KOMLJENOVIC et al., 2016; KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019). Com a padronização dada por conta do lançamento da série internacional ISO 55000, reitera-se o entendimento que a organização necessita planejar os processos e os métodos a serem empregados na gestão de ativos ao longo de seus ciclos de vida (ABNT, 2014b).

Figura 2.2 – Variações nas descrições dos estágios do ciclo de vida do ativo



Fonte: Traduzido de IAM (2015)

Logo, a gestão de ativos é uma visão mais ampla e com um escopo mais desafiador do que apenas a manutenção de ativos físicos ou a maximização do rendimento de um portfólio financeiro. A disciplina abrange todos os tipos de ativos, tangíveis e intangíveis, componentes individuais ou sistemas complexos e todas as atividades envolvidas no ciclo de vida do ativo (GFMAN, 2014). Dessa forma, a gestão de ativos permite “a aplicação de abordagens analíticas para a gestão dos ativos durante as diferentes fases do seu ciclo de vida” (ABNT, 2014a).

Esclarece-se, com essa discussão, as interfaces entre a manutenção e a gestão de ativos. Esse entendimento é fundamental para a compreensão dos limites desta pesquisa cujo enfoque é centralizado no estágio de manutenção do ciclo de vida dos ativos físicos. Embora a manutenção tenha interfaces com outros estágios dentro do ciclo de vida, esses apenas serão considerados, nesta pesquisa, nas discussões dos impactos no gerenciamento da manutenção.

Na próxima seção, revisa-se a literatura a fim de identificar e analisar as aplicações e as principais área-chave de pesquisa que relacionam a manutenção e a gestão de ativos.

## 2.2 O ESTADO DA ARTE

A manutenção é um processo de destaque para o alcance dos objetivos organizacionais das companhias. Em todas as atividades industriais, o papel da

manutenção é crucial para a garantia de alta disponibilidade dos equipamentos e de segurança (SOBRAL; SOARES, 2016). Além disso, a manutenção de equipamentos representa um componente significativo da despesa operacional nas indústrias de transporte, mineração, manufatura e utilidades (AHUJA; KHAMBA, 2008). Esse contexto reitera a importância do gerenciamento de manutenção para uma gestão eficiente e eficaz do ciclo de vida dos ativos físicos.

Dessa forma, nesta seção, revisa-se a literatura com a finalidade de discutir o estado da arte da manutenção no contexto da gestão de ativos. Para tal, apresenta-se o mapeamento das áreas-chave de pesquisa na primeira subseção seguido da discussão das principais contribuições e considerações sobre o estado da arte na segunda e terceira subseções respectivamente.

### **2.2.1 Mapeamento da literatura de manutenção na gestão de ativos**

O mapeamento da literatura contribui com a fundamentação teórica uma vez que fornece uma visão abrangente das tendências de publicação e auxilia na identificação das principais áreas de um campo de pesquisa. Nesta revisão, utilizou-se a abordagem de mapeamento bibliométrico, baseada em Amin, Khan e Amyotte (2019), composta por três etapas: coleta de dados, processamento de dados e discussão de resultados.

A coleta de dados foi conduzida na principal coleção (*Core collection*) da base de dados do *Web of Science* com a combinação das palavras-chave e suas variações, em inglês, referentes à gestão de ativos e a manutenção. De acordo com Gusenbauer e Haddaway (2020), essa base de dados é adequada para síntese de evidências na forma de revisões sistemáticas, pois atende a todos os requisitos de desempenho necessários, tais como vocabulário controlado, consultas booleanas, possibilidade de *download* de registros em massa, entre outros pontos. Além disso, a coleção contém 74,8 milhões de registros totais distribuídos em mais de 21.100 periódicos acadêmicos de alta qualidade e revisados por pares (*peer-reviewed*), publicados em todo o mundo em mais de 250 disciplinas (WEB OF SCIENCE, 2020).

A fim de tornar a coleta mais ampla, não houve restrição no período de início de busca, considerando os documentos de todos os anos até a conclusão da última década no ano de 2019. No entanto, buscou-se priorizar artigos, revisões e materiais

editoriais devido à relevância dos documentos e ao rigor no processo de revisão. Os detalhes da definição da coleta de dados estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Protocolo de coleta de dados do mapeamento da literatura

<b>Tópico</b>	<b>Definição</b>
Palavras-chave	“ <i>maintenance</i> ” e “ <i>asset management</i> ”
Base de dados	Web of Science core collection
Texto de busca	“ <i>maintenance</i> ” AND “ <i>asset* management</i> ”
Local de busca	Tópicos (engloba título, resumo e palavras-chave)
Período de busca	Todos os anos até 2019
Tipo de documentos	Artigo, revisões e materiais editoriais
Data da coleta	14 de abril de 2020

Fonte: Autoria própria

O processamento de dados incluiu as atividades de agrupamento, estruturação, limpeza e padronização de registros. Já a discussão dos resultados priorizou, inicialmente, a identificação das áreas-chave de pesquisa para a caracterização do estado da arte. Para tal, utilizou-se o *software* VOSviewer como suporte na criação de redes bibliométricas. VOSviewer é disponível gratuitamente para a comunidade de pesquisa bibliométrica e baseia-se na técnica de mapeamento de visualização de similaridades que fornece um mapeamento baseado na distância (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Entre as opções, o VOSviewer foi selecionado devido à qualidade das representações gráficas e à consideração da distância como a força da relação entre os dados que contribui para a facilidade de interpretação.

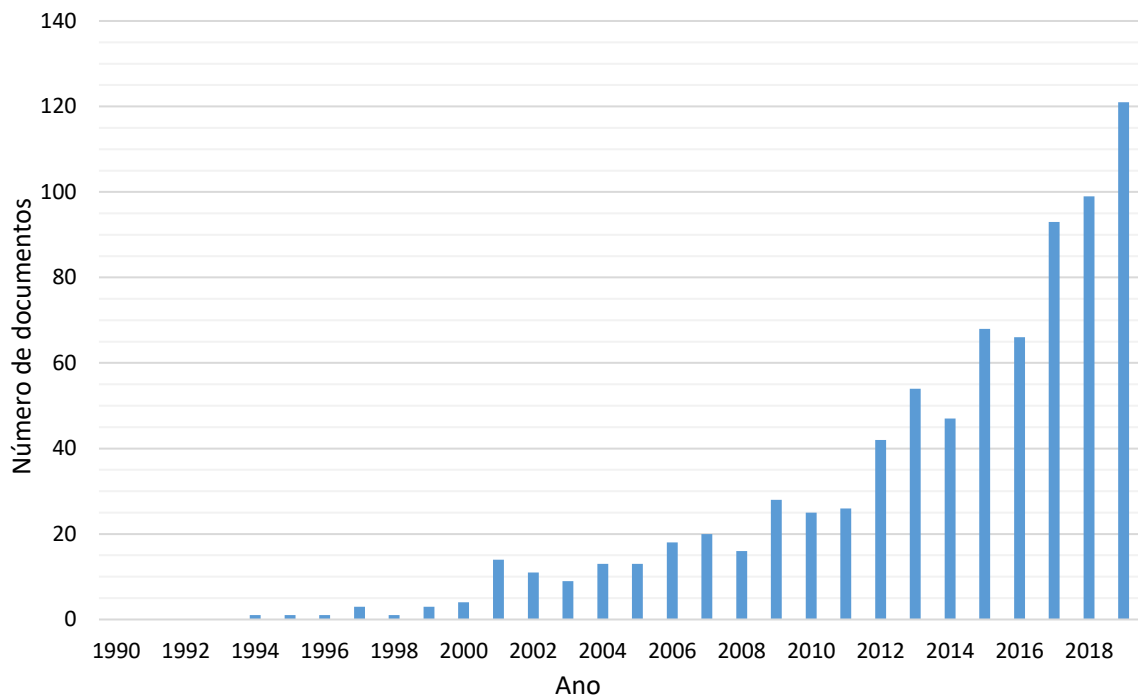
De acordo com o protocolo de coleta de dados na Tabela 2.3, um total de 659 documentos foram selecionados para o mapeamento da literatura. A distribuição desses documentos ao longo do tempo é apresentada na Figura 2.3. Cabe ressaltar que a tendência de publicação ao longo do tempo reitera alguns fatos discutidos anteriormente na seção de histórico da gestão de ativos.

As publicações que associam manutenção e a gestão de ativos tiveram início em meados da década de 1990, ou seja, confirmando o início do uso do termo gestão de ativos além do contexto financeiro e de negócios nesse período. A tendência de publicação crescente começou a se intensificar, de fato, na década de 2000. Reflexo das primeiras publicações que culminaram na padronização da gestão de ativos



físicos como a primeira edição da PAS 55 em 2004. Por fim, a partir de 2014, com a publicação da série internacional ISO 55000, as publicações ganharam ainda mais evidência.

Figura 2.3 – Documentos que englobam manutenção e gestão de ativos por ano



Fonte: Autoria própria

A coleta de dados identificou 2480 palavras-chave diferentes em todos os registros de metadados dos 659 documentos selecionados e as mais exibidas foram expostas na Tabela 2.4. Uma análise preliminar dessas palavras-chave pode fornecer uma ideia geral dos assuntos abordados nas pesquisas que associam os termos manutenção e gestão de ativos.

No entanto, com a finalidade de uma compreensão mais ampla, o uso da rede bibliométrica de coocorrência de palavras-chave foi utilizada como ferramenta para mapear as principais áreas-chave de pesquisa. Segundo Mulet-Forteza et al. (2019), na visualização gráfica de uma rede bibliométrica, o tamanho de um nó (círculo) indica a relevância de um item, já o posicionamento dos círculos e o uso de cores destacam os agrupamentos (*clusters*). Além disso, a distância entre dois nós é inversamente proporcional ao número de coocorrências entre as palavras-chave.

Tabela 2.4 – Palavras-chave mais exibidas nos documentos coletados

<b>Palavra-chave</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Palavra-chave</b>	<b>Ocorrência</b>
Gestão de ativos	249	Risco	21
Manutenção	123	Manutenção & inspeção	20
Otimização	55	Manutenção Baseada na Condição	19
Sistema	54	Monitoramento da condição	19
Confiabilidade	49	Modelos	19
Modelo	48	Construção	18
Gerenciamento	48	Substituição	18
Sistemas	36	Impacto	17
Infraestrutura	31	Inspeção	17
Desempenho	30	Avaliação da condição	16
<i>Framework</i>	28	Tomada de decisão	15
Deterioração	25	Predição	15
Projeto ( <i>design</i> )	22	Pontes	15

Fonte: Autoria própria

Devido ao elevado número de palavras-chave diferentes, a rede de coocorrência foi desenvolvida no VOSviewer considerando as palavras-chave com uma ocorrência mínima em 10 diferentes documentos coletados. 48 palavras-chave atenderam esse critério e foram representadas a fim de identificar as principais áreas-chave de pesquisa, conforme Figura 2.4.

Pode-se observar que a rede de coocorrência destacou 5 agrupamentos diferentes de palavras-chave. No centro do mapeamento, como esperado, concentraram-se as palavras-chaves utilizadas na pesquisa na base de dados (“*asset management*” e “*maintenance*”). Ao entorno, evidencia-se dois grandes agrupamentos de palavras-chaves (verde e vermelho), dois menores e mais isolados (amarelo e roxo) e outro mais central que tangencia todos os demais (azul). Esses agrupamentos contribuem para a caracterização do estado da arte da manutenção no contexto da gestão de ativos físicos.



Tabela 2.5 – Áreas-chave de pesquisa de manutenção e gestão de ativos

Área	Classificação	Principais palavras-chave além de 'gestão de ativos' e 'manutenção'
I. Verde	Manutenção de redes e sistemas elétricos	Transformador de potência, monitoramento da condição, manutenção baseada na condição, transformador, redes, manutenção centrada na confiabilidade e taxa de falha
II. Vermelha	Manutenção de infraestruturas civis e de transportes	Infraestrutura, deterioração, desempenho, risco, projeto, manutenção & inspeção, construção, pavimento e pontes
III. Amarela	Manutenção de sistemas de água e esgoto	Sistema de esgoto, inspeção, predição e avaliação de risco
IV. Roxa	Gestão da informação de construções e instalações para a manutenção	Gerenciamento de instalações ( <i>facilities</i> ), <i>Building Information Modeling</i> (BIM) e estrutura ( <i>framework</i> )
V. Azul	Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos	Confiabilidade, tomada de decisão, otimização, otimização da manutenção, política, substituição e reabilitação

Fonte: Autoria própria

Uma vez mapeadas as áreas-chave de pesquisa, discutem-se as principais contribuições do estado da arte por meio de uma revisão de conteúdo de documentos selecionados a cada área na subseção seguinte.

### 2.2.2 Principais contribuições do estado da arte

Discutir as principais contribuições da literatura acerca do gerenciamento de manutenção na gestão de ativos colabora com a fundamentação teórica visto que aprofunda as abordagens e aplicações desenvolvidas na área. Para isso, utilizaram-se palavras-chaves classificadas no mapeamento (Tabela 2.5) a fim de filtrar e identificar os documentos que integram cada área-chave dentre os selecionados no protocolo de coleta. A revisão do conteúdo priorizou os documentos dos últimos 10 anos que apresentaram maior número de citações e também maior relevância na busca mediante as palavras-chave utilizadas no filtro de cada área classificada.

Com a finalidade de melhor delimitar a discussão, a revisão de conteúdo subdividiu-se conforme as áreas-chave de pesquisa identificadas no mapeamento. Discutem-se, dessa forma, as principais contribuições do estado da arte para cada

uma dessas áreas que englobam a manutenção e gestão de ativos em suas pesquisas.

#### 2.2.2.1 Manutenção de redes e sistemas elétricos

A área de “Manutenção de redes e sistemas elétricos” contempla os termos “transformador de potência”, “monitoramento da condição”, “manutenção baseada na condição”, “transformador”, “redes”, “manutenção centrada na confiabilidade” e “taxa de falha” entre as principais palavras-chaves associadas às pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos. Evidencia-se, de modo geral, que a área prioriza abordagens para planejamento e melhoria das despesas e riscos da manutenção na gestão de ativos físicos do setor elétrico por meio de aplicações, muitas vezes combinadas, de estratégias de manutenção tais como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e a Manutenção Baseada na Condição (MBC) e em análises estatísticas de confiabilidade e manutenibilidade.

Dehghanian et al. (2013) estruturaram um algoritmo para a implementação da MCC em sistemas de distribuições elétricas que combina análises estatísticas quantitativas para a otimização das atividades de manutenção. Aldhubaib e Salama, (2014) investigaram o efeito do planejamento de atividades de manutenção, definidas por meio da MCC, na melhoria das despesas de substituição de transformadores de potência. O estudo revelou que a estratégia de planejar atividades de manutenção antecipadas podem estender o tempo de vida dos equipamentos e auxiliar na redução despesas. Campelo et al., (2016) propuseram uma estrutura para a definição de políticas de manutenção, também para transformadores de potência, capaz de minimizar as despesas associados à manutenção e as eventuais falhas potenciais baseada em um processo de otimização multiobjetivo. Já Koksall e Ozdemir (2016) melhoraram o plano de manutenção de transformadores de um sistema de transmissão por meio da otimização das transições de estado em uma modelagem por diagrama de Markov.

Hanai et al. (2013) propuseram um sistema de gestão de uma rede inteligente para transmissão e distribuição de energia elétrica que determina a estratégia ótima de manutenção e o controle de carga baseado no monitoramento e diagnóstico da condição operacional dos equipamentos e em simulações de falha por Monte Carlo. Bakar e Abu-Siada (2016), por sua vez, desenvolveram uma abordagem para estimar

a vida útil remanescente de transformadores por meio da combinação do monitoramento da condição do óleo de isolamento e lógica Fuzzy a fim de contribuir nas tomadas de decisão na gestão de ativos. Trappey et al. (2015) apresentaram um sistema para a gestão inteligente de ativos que monitora em tempo real parâmetros chave, capta dados e aplica modelos de previsão baseados nos algoritmos PCA e rede neural artificial para detectar falhas potenciais em transformadores de potência.

Dehghanian et al. (2012) desenvolveram um processo de análise de criticidade para priorizar os componentes de um sistema de distribuição de energia para a implantação da MCC por meio da combinação do Processo de Hierarquia Analítica, do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com a lógica Fuzzy. Adoghe, Awosope e Ekeh (2013) utilizaram análises estatísticas dos dados de falhas de um sistema de distribuição elétrica a fim demonstrar a identificação de componentes críticos do sistema para um planejamento de manutenção. Já Abu-Siada e Islam (2012) classificaram a criticidade de transformadores de potência para tomadas de decisão no gerenciamento de manutenção por meio da combinação de análises de gás dissolvido no óleo de isolamento e análise de dados por algoritmo de expressão gênica. Nordgard e Sand, (2010) desenvolveram uma metodologia, baseada em Rede Bayesiana, para análise de risco quantitativa em sistemas de distribuição de eletricidade para viabilizar o gerenciamento de manutenção baseada em risco. De forma análoga, Catrinu e Nordgard (2011) demonstraram a integração da análise de risco para gestão de ativos elétricos baseada na teoria da função de valor de atributos múltiplos.

Segundo Abu-Elanien, Salama e Bartnikas (2011), o foco da operação de sistemas de energia elétrica mudou e os esforços estão sendo direcionados a explorar novas abordagens e técnicas de monitoramento, diagnóstico, avaliação de condição, manutenção e vida remanescente dos ativos físicos existentes. Isso é reflexo das constantes pressões para reduzir as despesas operacionais, aumentar a confiabilidade dos equipamentos, melhorar a qualidade dos serviços para o cliente e controlar os riscos envolvidos na operação que as concessionárias de energia enfrentam em um contexto de envelhecimento do portfólio de ativos. Dessa forma, os trabalhos revisados compartilham dessa visão do estado da arte da melhoria dos resultados do gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos de redes e sistemas elétrico.

### 2.2.2.2 Manutenção de infraestruturas civis e de transportes

Para a segunda área, “Manutenção de infraestruturas civis e de transportes”, “infraestrutura”, “deterioração” e “desempenho” são as principais palavras-chave associadas às pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos. “Risco”, “projeto”, “manutenção & inspeção”, “construção”, “pavimento” e “pontes” são outros termos comuns a esse campo, ainda que em menores quantidades. De modo análogo à primeira área, abordam-se o planejamento, a melhoria das despesas e os riscos durante o gerenciamento de manutenção de forma direcionada a uma ampla variação de ativos de infraestrutura tais como construções, pontes, rodovias e ferrovias.

Cavaco, Neves e Casas (2017) estruturaram uma avaliação probabilística da robustez estrutural para infraestruturas de concreto armado em processo de deterioração com a finalidade de otimizar a manutenção e o planejamento das intervenções. Já Chen e Alani (2012) apresentaram um método baseado no modelo de deterioração do Processo Gama e de simulações de Monte Carlo para avaliar quantitativamente o risco de ondas se sobreporem a estruturas de defesas marítimas (ex. diques) em um contexto de mudanças climáticas a fim de fornecer um planejamento de manutenção melhorado ao longo da vida útil do ativo. Sousa, Alçada-Almeida e Coutinho-Rodrigues (2017), por sua vez, desenvolveram um método biobjetivo, validado em uma aplicação para calçamentos, para o apoio na tomada de decisão do planejamento de manutenção a fim de otimizar a relação custo-benefício das políticas de manutenção.

Khelifa et al. (2013) desenvolveram uma abordagem para a gestão de ativos que prioriza a necessidade de manutenção em pontes por meio de uma avaliação quantitativa de risco. Chan et al. (2015) revisaram o uso de veículos aéreos não tripulados (ex. drones) para inspeções visuais da condição de deterioração em pontes. A técnica apresenta potencial significativo para reduzir as despesas globais das inspeções e os riscos expostos aos inspetores, além de capturar imagens detalhadas e contexto espacial 3D, contribuindo para a compreensão da situação e para as tomadas de decisão de manutenção.

Diferentes abordagens para analisar a deterioração de rodovias e ferrovias foram desenvolvidas com a finalidade de otimizar a aplicação das atividades de manutenção. Kobayashi, Do e Han (2010) utilizaram o modelo de probabilidade de transição de Markov para prever o processo de deterioração do pavimento de seções

de rodovias. Han, Kaito e Kobayashi (2014) aplicaram um método baseado na estimativa Bayesiana combinada com uma cadeia de Markov para uma previsão da deterioração de infraestruturas rodoviárias. Zhang e Gao (2012) modelaram a deterioração de rodovias por meio de um processo Markov parcial (semi-Markov) no qual os estados de transição possuem propriedades de Markov e o tempo de espera para cada estado é calculado pela distribuição estatística de Weibull. Esse mesmo processo parcial de Markov foi utilizado por Thomas e Sobanjo (2013) para modelar deterioração de trincas em pavimentos.

Prescott e Andrews (2015) apresentaram um modelo de Markov que prediz a condição das seções de trilhos em ferrovias ao longo do tempo para uma dada estratégia de manutenção. Essa abordagem possibilita, portanto, investigar os efeitos dessas estratégias para a melhoria das despesas, conforto e segurança para os passageiros. Os mesmos autores também modelaram o processo de otimização e priorização de manutenção em trilhos de uma rede de ferrovias por meio do uso da Rede Petri com dados de deterioração de lastros e de informações de manutenção, inspeção e localização (PRESCOTT; ANDREWS, 2013). Já Furuya e Madanat (2013) formularam um método para capturar interdependências no gerenciamento de manutenção de redes ferroviárias a fim de examinar os efeitos econômicos e funcionais para a sua melhoria. Uma abordagem para aprimorar as intervenções de manutenção em ferrovias com base em dados históricos das geometrias dos trilhos foi desenvolvida por Andrews (2013). O modelo utilizou da distribuição estatística de Weibull para o processo de degradação e da Rede Petri e de simulações de Monte Carlo para avaliar diferentes estratégias de manutenção.

Há uma demanda crescente na preservação das infraestruturas de transporte utilizando recursos limitados (THOMAS; SOBANJO, 2013). Para Zhang e Gao (2012) os modelos de otimização são necessários para a eficácia e custo-benefício da manutenção em redes rodoviárias. A manutenção efetiva de ativos ferroviários, em um contexto de envelhecimento, crescente utilização e recursos limitados, é um desafio significativo para as organizações (ANDREWS, 2013). Esse paralelo também pode ser feito para outras áreas de infraestrutura civil. Portanto, o desenvolvimento de modelos de deterioração e melhoria da manutenção tem sido prioridade nas pesquisas de manutenção para a gestão de ativos físicos de infraestrutura.



### 2.2.2.3 Manutenção de sistemas de água e esgoto

As palavras-chave “sistema de esgoto”, “inspeção”, “avaliação de risco” e “predição” integram a terceira área do mapeamento das pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos, classificada como “Manutenção de sistemas de água e esgoto”. Sem pormenorizar, essa área contempla pesquisas que se concentram no desenvolvimento e aplicação de modelos e técnicas para inspeção da condição de infraestruturas de água e esgoto. Pode-se dizer que é uma área que se relaciona com a anterior de infraestrutura, no entanto, focando, especificamente, na manutenção de um grupo específico de ativos físicos de infraestrutura.

Para Osman, Atef e Moselhi (2012), a avaliação da condição é um componente fundamental para os sistemas de gestão de ativos de infraestrutura uma vez que a informação da condição do ativo contribui para a tomada de decisão em relação à necessidade de manutenção, reabilitação<sup>6</sup> e substituição. Dessa forma, os autores propuseram uma metodologia baseada no Processo de Decisão de Markov (*Markov Decision Process*) para auxiliar os gestores na seleção da tecnologia mais adequada, assim como os intervalos de inspeção, para infraestruturas subterrâneas tais como as tubulações de água e esgoto.

Davis et al. (2013) dedicaram-se a estudar tecnologias de monitoramento de condição para a aplicação em redes de água e esgoto com a finalidade de prolongar a vida útil dos ativos da rede sempre que possível, reduzir as despesas operacionais e minimizar o impacto de falhas de ativos nas comunidades e no meio ambiente. Lau e Dwight (2011) aplicaram a lógica Fuzzy em modelo de tomada decisão para o gerenciamento de manutenção a fim de sugerir a ação ótima a ser realizada nos problemas identificados no monitoramento da condição de tubulações de água. Já Roshani e Fillion (2014) desenvolveram uma abordagem para melhorar o tempo para a reabilitação de redes de água em municípios com orçamentos limitados, avaliando os impactos de diferentes estratégias.

Younis e Knight (2010) desenvolveram um modelo matemático de regressão para a prognose da deterioração de tubulações de esgoto com base em dados de inspeções visuais. Inanloo et al. (2016), por sua vez, desenvolveram uma metodologia

---

<sup>6</sup> O termo “reabilitação” tem sido utilizado no contexto de manutenção de sistemas de água e esgoto para caracterizar a restauração da capacidade de estruturas deterioradas, principalmente tubulações.

de avaliação quantitativa multinível de risco para quantificar a vulnerabilidade e os impactos das redes de transporte devido a falhas na tubulação (como exemplo, água e esgoto). Para Meijer et al. (2018), a identificação dos elementos mais críticos em uma rede é crucial para a formulação de estratégias de gestão de ativos. Para tal, os autores apresentaram a utilização da teoria dos grafos para a análise de criticidade em redes de esgoto.

Ugarelli et al. (2010) discutiram os requisitos da gestão de ativos e suas barreiras para implementação em uma rede urbana de esgoto. Os autores destacaram que a gestão de ativos requer informações a serem monitoradas e utilizadas para guiar as práticas de manutenção, operação e investimentos. A falta de dados organizados ou facilmente acessíveis pode ser uma grande desvantagem quando se objetiva alcançar os melhores resultados na gestão de ativos físicos.

A infraestrutura de água subterrânea é essencial para a vida nas cidades. O envelhecimento dessas infraestruturas requer estratégias de manutenção para manter um nível mínimo de serviço (MEIJER et al., 2018). Para Davis et al. (2013), o setor de água enfrenta desafios significativos para manter a prestação de serviços segura e confiável em um contexto de infraestrutura envelhecida, crescimento urbano e com capacidade de investimento atrelada ao consumo e capacidade financeira do usuário. Dessa forma, essa é uma área-chave que tem buscado aperfeiçoar práticas de inspeção e manutenção na busca de melhores resultados na gestão de ativos.

#### 2.2.2.4 Gestão da informação de construções e instalações para manutenção

A quarta área, associada à “Gestão da informação de construções e instalações para manutenção”, desenvolve-se ao entorno das palavras-chave “gerenciamento de instalações (*facilities*)” e “*Building Information Modeling (BIM)*”. Na representação gráfica do mapeamento, observa-se que essa área é adjacente à área que relaciona a manutenção dos ativos físicos de infraestrutura. Isso ocorre pelo fato de que trabalhos desenvolvidos com a temática de gestão da informação para gestão de ativos serem frequentemente aplicados em construções e projeto, compartilhando algumas palavras-chave em comum. Além disso, essa área-chave de pesquisas que engloba manutenção é mais recente e sua literatura não é extensa.

Pärn, Edwards e Sing (2017) desenvolveram um estudo sobre a trajetória da disciplina de Modelagem da Informação da Construção, tradução de BIM para o

português, por meio de uma revisão da literatura. Para os autores, o período que antecedeu a publicação da PAS 55 para gestão de ativos, em 2004, é destacado como era pré-BIM. Desde então, diretrizes específicas para direcionamento das questões relativas ao gerenciamento de informações de projetos de construção começaram a emergir, tais como a especificação BS 1192 em 2007 (BSI, 2007) e a norma ISO 29481 em 2010 (ISO, 2010). Outros estudos revelam que BIM é, principalmente, usado nos estágios iniciais do ciclo de vida, tais como desenvolvimento de projeto e implantação (BOSCH; VOLKER; KOUTAMANIS, 2015). No entanto, dada a sua evolução, há uma tendência de planejar o uso da BIM ao longo de todo o ciclo de vida do ativo físicos (PÄRN; EDWARDS; SING, 2017).

Isso se refletiu em pesquisas que associam, especificamente, as aplicações da BIM ao estágio de manutenção da gestão de ativos. Chan et al. (2015) desenvolveram uma estrutura conceitual que integra BIM e tecnologias avançadas de processamento de imagem a fim de melhorar a confiabilidade e eficiência das práticas de inspeção de manutenção em estruturas de infraestrutura como pontes. Já Love et al. (2016) propuseram o uso da BIM pelos gerentes e pelas equipes como ferramenta para tomada de decisões mais informadas e rápidas sobre manutenção visto que contribui para a confiabilidade, centralização e atualização das informações do projeto.

Cecconi, Maltese e Dejaco (2017) desenvolveram um modelo pouco detalhado, mas com alto nível de informação, para o gerenciamento de instalações prediais via BIM com objetivo de demonstrar que seu uso é praticável, proveitoso em termos econômicos e de precisão das informações fornecidas para diferentes *stakeholders* durante estágio de manutenção e operação do ciclo de vida. Já Neath, Hulse e Codd (2014) apresentaram, na prática, um caso de sucesso na aplicação da BIM ao longo de todos os estágios do ciclo de vida para o aeroporto de Gatwick no Reino Unido. No estágio de manutenção, as informações associadas ao portfólio de ativos físicos na BIM, tais como localização, taxa de deterioração e periodicidade de manutenção preventiva, contribuem para a elaboração do planejamento de manutenção de forma eficiente.

Logo, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) emerge como uma solução potencial para os proprietários de instalações enfrentarem os desafios relativos à baixa fidelidade das informações, à interoperabilidade e à usabilidade na entrega do projeto para dar suporte ao ciclo de vida das informações de seus ativos (CAVKA; STAUB-FRENCH; POIRIER, 2017). Dessa forma, verifica-se que os

trabalhos dessa área têm em comum a priorização dos dados informatizados na discussão e o desenvolvimento de modelos e aplicações que tragam valor para a gestão de ativos físicos ao longo dos seus diferentes estágios do ciclo de vida, inclusive para o gerenciamento de manutenção.

#### 2.2.2.5 Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos

Embora o mapeamento da literatura tenha destacado um último agrupamento nas pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos, esse diferencia-se até então dos demais por não priorizar uma temática de aplicação em comum nos trabalhos. Pelo contrário, a quinta área, “Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos”, incorpora palavras-chave genéricas tais como, “confiabilidade”, “tomada de decisão”, “otimização”, “otimização de manutenção”, “política”, “substituição e “reabilitação”. Enquanto as demais áreas-chave foram agrupadas pelas similaridades de palavras-chave específicas que caracterizam um campo temático de aplicação (ex. elétrica, infraestrutura, etc.), a quinta área foi agrupada por termos menos específicos e que tangenciam todas as demais áreas.

Como consequência, o que os trabalhos dessa área têm em comum é o desenvolvimento e aplicação de abordagens para o gerenciamento de manutenção no contexto da gestão de ativos físicos. Muitos dos documentos identificados na filtragem dessa última área já foram revisados nas contribuições das áreas anteriores uma vez que compartilham dessas palavras-chaves genéricas além das palavras-chave específicas de outras áreas. No entanto, mesmo que grande parte dos trabalhos que compõem essa área já tenham sido discutidos, alguns trabalhos de caráter mais geral ou teóricos foram identificados enriquecendo as contribuições.

Van der Velde, Klatter e Bakker (2013) trataram a abordagem desenvolvida pela agência executiva do Ministério de Infraestrutura e Meio Ambiente da Holanda para a implantação da gestão de ativo nos sistemas de infraestrutura de rodovias e gestão de água. Os autores destacaram que os dados precisos e confiáveis acerca dos ativos físicos e um programa estável de manutenção são as duas primeiras barreiras para implantação do programa. Já Campos e Márquez (2011) discutiram uma estrutura conceitual de gerenciamento de manutenção que considera os requisitos gerais dispostos na especificação PAS 55. Além disso, os autores utilizaram

da linguagem de modelagem UML para representar os objetivos de cada macroprocesso da estrutura da estrutura proposta e facilitar a compreensão.

Além disso, abordagens gerais para a melhoria do planejamento da manutenção (HEGAZY et al., 2012; LAM; BANJEVIC, 2015) e o monitoramento da condição para a gestão de ativos físicos (DONG, 2010; LIAO; LEE, 2010; TRAPPEY; TRAPPEY; NI, 2013; BUMBLAUSKAS et al., 2017) foram discutidas sem aplicação a um setor ou grupo de ativos específicos. De modo análogo, abordagens para suporte à tomada de decisão na manutenção também foram identificadas (CHEN et al., 2015; WANG et al., 2018).

Pelas características desse agrupamento, verificou-se que os trabalhos dessa área se relacionam entre si na medida que propõem diferentes abordagens em um contexto amplo do gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos independente da área de aplicação. Dessa forma, é uma área geral que incorpora grande parte dos trabalhos que já haviam sido discutidos, principalmente, nas três primeiras áreas. Dessa forma, objetivou-se apenas complementar as contribuições com outros trabalhos dessa área que não haviam sido abordados previamente.

### **2.2.3 Considerações sobre o estado da arte**

As duas subseções antecessoras a esta destinaram-se a revisar o estado da arte das pesquisas que englobam manutenção e gestão de ativos. Inicialmente, um mapeamento da literatura foi realizado com a finalidade de identificar as principais áreas de pesquisa que relacionam os dois temas. Em seguida, na segunda subseção, foram discutidas as principais contribuições de cada uma dessas áreas por meio de uma revisão de conteúdo. Essas duas subseções complementaram-se e contribuíram para a compreensão do estado da arte. Nesta subseção, portanto, cabem algumas considerações que sintetizem as discussões e justifiquem os objetivos desta pesquisa.

Conforme o levantamento de documentos da literatura, as pesquisas que englobam as temáticas de manutenção e gestão de ativos tiveram seus primeiros registros em meados da década de 1990 (Figura 2.3). Com o mapeamento da literatura, na Figura 2.4, ficou evidente que essas pesquisas se concentram, principalmente, em cinco áreas de pesquisa (Tabela 2.5): Manutenção de redes e sistemas elétricos, Manutenção de infraestruturas civis e de transportes, Manutenção

de sistemas de água e esgoto, Gestão da informação de construções e instalações para manutenção e Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos.

A revisão de conteúdo priorizou os documentos mais relevantes na busca, assim como os mais citados, dos últimos 10 anos de cada área. De modo geral, há uma predominância em desenvolver e aplicar abordagens para o planejamento e melhoria das despesas e riscos da manutenção na gestão de ativos físicos. Esses trabalhos baseiam-se, principalmente, em discussões de modelos e técnicas para monitoramento da condição dos ativos em uma estratégia de Manutenção Baseada na Condição (MBC). Aplicações da manutenção centrada na confiabilidade (MCC), análises estatísticas para confiabilidade e mantenedibilidade e métodos de otimização e de apoio a tomadas de decisões também estão presentes nos trabalhos.

Com exceção da área quatro, Gestão da informação de construções e instalações para manutenção, e da área cinco, Abordagens da manutenção para a gestão de ativos físicos, as demais distinguem-se entre si dado o campo de aplicação das abordagens desenvolvidas. A primeira direciona-se a ativos do setor elétrico, a segunda engloba estruturas de infraestrutura civis e de transportes tais como construções, pontes, rodovias e ferrovias e a terceira enfoca redes de água e esgoto. A quarta área integra pesquisas com o tema da gestão da informação para gestão de ativos, aplicáveis, frequentemente, em construções e instalações. Por fim, a área cinco é genérica e caracteriza-se pela presença de trabalhos que destacam o desenvolvimento de abordagens, modelos e técnicas para otimização e tomada de decisão de manutenção. Dessa forma, dada suas palavras-chaves menos específicas, muitas vezes, esses trabalhos também estão presentes nas demais áreas e suas contribuições já revisadas.

Esse mapeamento corrobora o enfoque desta pesquisa visto que evidencia uma lacuna no estado da arte das pesquisas que englobam a manutenção e a gestão de ativos em não abordar o aspecto organizacional do gerenciamento de manutenção. As principais contribuições das pesquisas nessas áreas, majoritariamente, abordam métodos, modelos, técnicas para melhorar os resultados da manutenção e, por consequência, da gestão de ativos.

Não se identificou no estado da arte, até o momento, uma tendência de discutir e investigar estruturas para o gerenciamento de manutenção que considere as diretrizes de gestão de ativos físicos, embora haja diversas referências que relatam dificuldades para a implantação da disciplina na manutenção (MINNAAR; BASSON;

VLOK, 2013a; WIJNIA; DE CROON, 2015; IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2016). A gestão de ativos tem sido utilizada na literatura para a contextualização do desenvolvimento de pesquisas na área de manutenção. No entanto, nesta pesquisa, a gestão de ativos físicos é abordada diretamente no aspecto organizacional da manutenção, contribuindo para a elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Por definição, o termo pesquisa refere-se a um método cuidadoso, bem definido, objetivo e sistemático de busca de novos conhecimentos ou contribuições para expandir a base de conhecimento existente (DEB; DEY; BALAS, 2019). Em outras palavras, a realização de pesquisas envolve a busca metódica por conhecimento na forma de respostas às questionamentos que foram elaborados pelos pesquisadores (JONKER; PENNINK, 2009).

As pesquisas científicas encontram respostas de forma sistemática a partir do método científico de aquisição de conhecimento que se baseia em evidências empíricas e mensuráveis ao invés de crenças e argumentos (THOMAS, 2021). Para Sampieri, Collado e Lucio (2013), a pesquisa científica é, em essência, como qualquer tipo de pesquisa, só que mais rigorosa, organizada e realizada de maneira mais cuidadosa. O fato de ser sistemática implica que existe uma disciplina para realizar a pesquisa enquanto que o fato de ser empírica expõe o uso da coleta e análise de dados. Além disso, a pesquisa científica possibilita ser avaliada e revisada baseada em novas evidências.

A metodologia de pesquisa é o estudo do processo de pesquisa que engloba não só os métodos utilizados, mas também a lógica por trás da seleção desses métodos para a condução dos objetivos de um projeto de pesquisa (THOMAS, 2021). Em outras palavras, a metodologia de pesquisa é, em linhas gerais, a maneira pela qual um pesquisador conduz a pesquisa. A sua exposição contribui para tornar a abordagem da pesquisa transparente para o próprio pesquisador quanto para outros acadêmicos (JONKER; PENNINK, 2009).

Dessa forma, dado que a metodologia de pesquisa abrange as escolhas teóricas realizadas pelo pesquisador para abordagem do objeto do estudo assim como as etapas e os métodos a serem utilizados ao longo da pesquisa (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), esse capítulo divide-se em duas seções. Na primeira seção, discute-se a metodologia da pesquisa por meio da caracterização desta pesquisa, seguida da apresentação das etapas e dos métodos utilizados para a obtenção dos objetivos propostos na segunda seção.



### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa está associada à forma com que o pesquisador decide lidar com determinado objeto de estudo. Cabe ao pesquisador definir o problema de pesquisa e, a partir dele, derivar as perguntas que pretendem ser respondidas. Como consequência, diferentes questionamentos podem demandar diferentes metodologias de pesquisa. Para melhor compreensão, o enquadramento metodológico dessa pesquisa é discutido por meio da caracterização da pesquisa diante de quatro aspectos: abordagem, natureza, objetivos, e procedimentos técnicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Dado que as perguntas que essa pesquisa visa responder abordam de forma ampla o problema, a abordagem predominante da pesquisa é a qualitativa. Para Thomas (2021), essa classificação está associada com base na natureza dos dados que são coletados e analisados para o alcance dos objetivos da pesquisa. A abordagem qualitativa não utiliza a coleta de dados numéricos e as análises estatísticas como embasamento para responder aos questionamentos da pesquisa. Isto é, a abordagem qualitativa baseia-se na coleta de dados sem medições numéricas que são explorados e interpretados pelo pesquisador para gerar respostas teóricas aos questionamentos (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013). Essa abordagem prioriza o aprofundamento da compreensão sobre o assunto e busca exprimir o que convém ser feito (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto a sua natureza, essa pesquisa é aplicada visto que tem por objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Para Thomas (2021), esse tipo de pesquisa é desenvolvido tendo em vista os benefícios práticos, originais e de curto prazo que podem ser alcançados com seus resultados. Nesse sentido, dados são coletados de forma sistemática e analisados para que decisões e desenvolvimento de soluções sejam elaborados baseadas nesses achados (THOMAS, 2021).

Com base nos objetivos propostos para essa pesquisa, pode-se observar a prevalência do seu caráter exploratório. Pesquisas exploratórias são aquelas que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema e com o intuito de aprimorar ideias e propor possíveis soluções. Geralmente, essas pesquisas envolvem o levantamento bibliográfico, entrevistas com especialistas e análise de estudo de caso que estimulem a compreensão do problema (GIL, 2002). Para Sampieri, Collado

e Lucio (2013), os estudos exploratórios podem servir como suporte para futuras pesquisas com objetivos de alcances descritivos ou explicativos.

Por fim, essa pesquisa pode ser caracterizada quanto aos seus procedimentos técnicos para a coleta e análise de dados. Uma vez que a coleta de dados principal corresponde a dados secundários provenientes de livros e artigos, o procedimento técnico para a coleta dessa pesquisa é do tipo bibliográfico (GIL, 2002). Esse procedimento pretende fornecer ao pesquisador aquilo que já foi previamente desenvolvido e publicado em determinado tema (JONKER; PENNINK, 2009). Isso permite cobrir uma gama de fenômenos muito mais ampla do que o pesquisador poderia pesquisar diretamente através de outro procedimento de coleta de dados. Já quanto ao procedimento técnico para a análise de dados baseia-se na análise de conteúdo (GIL, 2002).

A caracterização da pesquisa com base nesses quatro aspectos possibilita evidenciar as orientações gerais para a condução da pesquisa. No entanto, essa perspectiva não discute os passos individuais para o alcance dos objetivos propostos, nem os métodos utilizados em mais detalhes. Logo, apresentam-se as etapas da pesquisa e os métodos utilizados na próxima na seção.

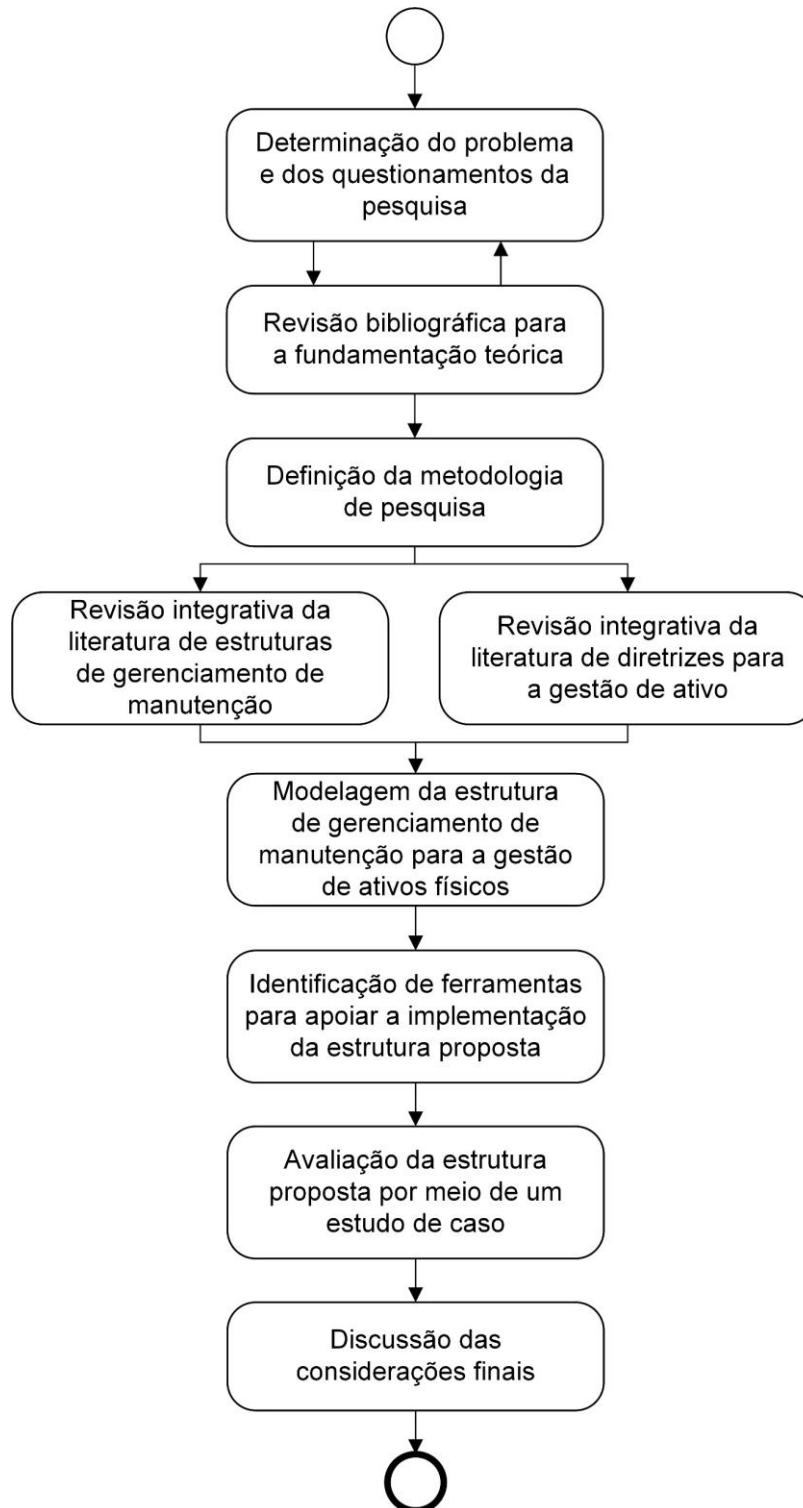
### **3.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS E MÉTODOS DA PESQUISA**

O desenvolvimento da pesquisa seguiu o delineamento da metodologia apresentada na seção anterior: uma pesquisa qualitativa, aplicada, de alcance exploratório e centrada em pesquisa bibliográfica e análise de conteúdo. Para melhor compreensão da sua condução, apresenta-se um fluxograma das etapas de pesquisa na Figura 3.1. Esse fluxograma representa o conjunto de etapas que devem ser cumpridas, desde o início da pesquisa até o seu final, na busca das respostas ao problema e questionamentos de pesquisa (DE AZEVEDO; ENSSLIN, 2020).

A partir do tema de pesquisa, definiram-se o problema e os questionamentos de pesquisa. Em seguida, uma pesquisa bibliográfica inicial foi realizada para fornecer a fundamentação teórica e aprimorar o escopo da pesquisa, retroalimentando a etapa anterior. Buscou-se concentrar principalmente nos conceitos de gerenciamento de manutenção e de gestão de ativos dado que são os temas centrais da pesquisa. Além disso, o estado da arte da literatura acerca do gerenciamento de manutenção no

contexto da gestão de ativos foi analisado por meio de um mapeamento bibliométrico, baseado na abordagem de Amin, Khan e Amyotte (2019), que identificou e discutiu as áreas-chave de pesquisa.

Figura 3.1 – Fluxograma das etapas da pesquisa



Na sequência, determinou-se a metodologia da pesquisa o que possibilitou a estruturação das etapas e os métodos necessários para o alcance dos objetivos. Cabe aos métodos prescrever o que deve ser feito diante de uma situação específica ou em um momento particular da pesquisa (JONKER; PENNINK, 2009). Em outras palavras, os métodos detalham as ações específicas que devem ser realizadas para a conclusão de uma atividade da pesquisa.

Dado que o procedimento de coleta de dados predominante nessa pesquisa foi o bibliográfico, revisou-se a literatura a fim de identificar estruturas de gerenciamento de manutenção e diretrizes para a gestão de ativos previamente desenvolvidos para realizar uma análise de conteúdo. Essas revisões dos dois temas ocorreram de forma paralela e embasaram as considerações para a elaboração da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para gestão de ativos físicos, conforme exposto na Figura 3.1. Ambas as etapas seguiram o método de revisão integrativa da literatura que tem como propósito criticar e sintetizar os achados da literatura de forma sistemática e qualitativa, podendo contribuir para o desenvolvimento de modelos e *frameworks* teóricos (SNYDER, 2019).

Em seguida, a elaboração da estrutura foi realizada por meio da modelagem de processos seguindo as especificações da linguagem gráfica BPMN (do inglês, *Business Process Model and Notation*) (OMG, 2011). Ademais, as considerações estabelecidas a partir dos achados das revisões integrativas da literatura para a elaboração da estrutura propostas foram seguidas durante esta etapa. A partir dos processos e das atividades incluídos na estrutura proposta, ferramentas aplicáveis para apoiar a sua implementação foram identificadas com intenção de direcionar o usuário para a viabilização prática da estrutura. Para tal, consideraram-se os achados das revisões integrativas da literatura assim como a revisão bibliográfica de trabalhos que abordam os processos da estrutura proposta.

A aplicabilidade da estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos foi avaliada com base em um contexto operacional real de uma usina hidrelétrica. Esta etapa considerou o método de estudo de caso que é caracterizado por se aprofundar em um caso específico, considerando os diferentes tipos de informações disponíveis (THOMAS, 2021). Cada um dos processos modelados na estrutura proposta foi demonstrado a partir das informações coletadas e seleção de ferramentas aplicáveis. Dessa forma, fornece-se com a realização de um estudo de caso uma exploração detalhada e prática da estrutura proposta de maneira

a permitir seu amplo entendimento (GIL, 2002). Por fim, discutiram-se os resultados da avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta nas considerações do estudo de caso.

Conforme exposto na Figura 3.1, a pesquisa se encerra com a etapa de apresentação das considerações finais no último capítulo. Esta etapa englobou a discussão das conclusões e das recomendações para trabalhos futuros, assim como das publicações científicas que foram derivadas do escopo desta pesquisa.

## 4 RESULTADOS DAS REVISÕES INTEGRATIVAS DA LITERATURA

A aplicação da revisão da literatura como um método de pesquisa pode ser recomendada diante de diferentes perguntas de pesquisa. Segundo Snyder (2019), uma revisão da literatura pode ser útil quando o pesquisador objetiva avaliar a teoria ou as evidências em uma certa área de conhecimento ou relacionadas a um problema de pesquisa particular. Dessa forma, ela pode contribuir para a identificação de lacunas (*gaps*) de pesquisa, elaboração de agendas de pesquisa, discussões em profundidade de determinado assunto, além de fornecer base para o desenvolvimento de novos modelos conceituais e *frameworks* na área pesquisada (SNYDER, 2019).

No entanto, para que uma revisão da literatura seja aplicada como um método de pesquisa, é necessário que essa seja conduzida seguindo passos definidos a fim de garantir uma revisão precisa e confiável (SNYDER, 2019). Nesta pesquisa, utilizou-se o método da revisão integrativa da literatura para a condução desta etapa da pesquisa visto que sua finalidade é de embasar a elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos e está alinhado com o propósito do método. Segundo Torracco, (2005), a revisão integrativa revisa, critica e sintetiza a literatura representativa sobre um tema de forma que novos entendimentos, estruturas (*frameworks*) e perspectivas sobre o tema sejam gerados por meio de uma ou mais formas de síntese.

Logo, apresentam-se, neste capítulo, os resultados das revisões integrativas da literatura realizadas ao longo da pesquisa. Destina-se a primeira seção para a apresentação dos achados referente às estruturas de gerenciamento de manutenção, enquanto que na seção seguinte apresentam-se as descobertas referentes às principais diretrizes para a gestão de ativos. Por fim, discutem-se as considerações para o desenvolvimento de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos ponderando os resultados das duas revisões da literatura na terceira e última seção deste capítulo.

### 4.1 ESTRUTURAS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO

O primeiro tópico de investigação por meio de uma revisão integrativa foi o gerenciamento de manutenção. Dado que é um dos temas centrais do escopo desta

pesquisa, essa revisão da literatura teve como propósito identificar as estruturas de gerenciamento de manutenção previamente desenvolvidas para uma análise crítica de conteúdo. Logo, essa etapa da pesquisa examinou e sintetizou como a manutenção tem sido abordado em termos de estruturas de gerenciamento ao longo dos anos. Esse resultado contribuiu para discutir as considerações para a elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

A coleta de dados foi conduzida na principal coleção (*Core collection*) da base de dados do Web of Science, na base de dados Scopus e na base de dados da IEEE Xplore do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) visto que estão entre as mais relevantes bases de dados de produção científica. A busca nessas bases de dados combinou o termo ‘gerenciamento de manutenção’ com os termos ‘estrutura’ e ‘modelo’, em inglês, para formar o texto de busca (*Search string*). Cabe ressaltar que o termo ‘modelo’ também foi utilizado visto que alguns autores utilizam essa palavra como equivalência de ‘estrutura’ no âmbito do gerenciamento de manutenção.

A fim de tornar essa identificação de documentos mais ampla, não houve restrição no período de busca, considerando os documentos de todos os anos. Além disso, também não foi restringido o tipo de documento na busca às bases de dados. Essas definições compuseram o protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção, conforme apresentadas na Tabela 4.1.

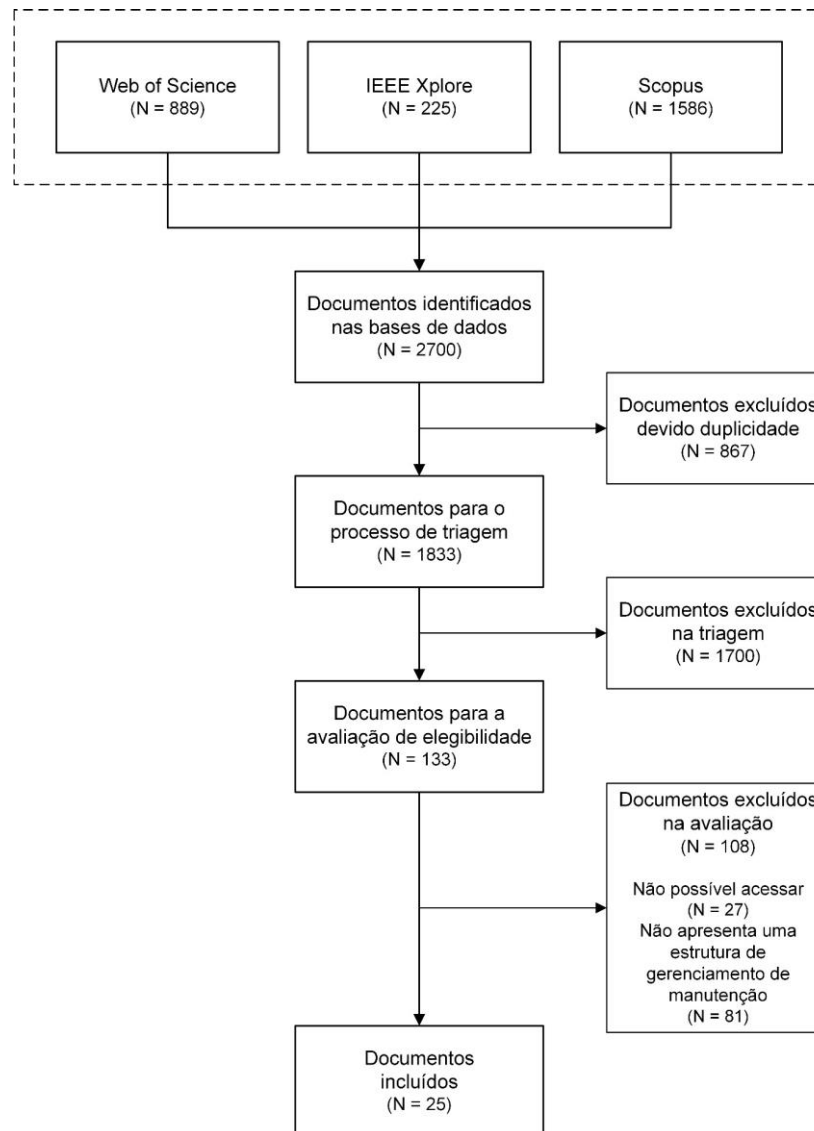
Tabela 4.1 – Protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção

<b>Tópico</b>	<b>Definição</b>
Palavras-chave	<i>maintenance management, framework e model</i>
Bases de dados	<i>Core collection</i> do Web of Science, Scopus e IEEE Xplore
Texto de busca	<i>“maintenance management” AND (“framework” OR “model”)</i>
Local de busca	Tópicos (engloba título, resumo e palavras-chave)
Período de busca	Todos os anos
Tipo de documentos	Todos os tipos de documentos
Data da coleta	23 de abril de 2021

Fonte: Autoria própria

A partir do protocolo de coleta, foram identificados um total de 2700 documentos com a pesquisa nas três bases de dados. Desses, 867 foram excluídos devido à duplicidade, resultando em um total de 1833 documentos, conforme exposto na Figura 4.1. Na sequência, esses documentos foram submetidos ao processo de triagem que contemplou a leitura do título, do resumo e das palavras-chave de cada um dos documentos para avaliar a sua relevância em relação ao propósito da revisão integrativa. Documentos que não expressaram abordar diretamente o gerenciamento de manutenção ou a elaboração de uma estrutura ou modelo para tal foram excluídos da revisão integrativa.

Figura 4.1 – Estratégia de pesquisa para identificar documentos sobre estruturas de gerenciamento de manutenção



Fonte: Autoria própria



O processo de triagem eliminou 1700 documentos, restando 133 documentos para a avaliação de elegibilidade. Essa atividade contemplou o acesso aos documentos e a leitura do trabalho por completo a fim de evidenciar se o documento era elegível ou não para revisão integrativa. Logo, excluíram-se os documentos cujo conteúdo não foi possível acessar assim como aqueles em que não se contemplava uma estrutura, ou modelo, de gerenciamento de manutenção. Dessa forma, foram selecionados 25 trabalhos para a inclusão no escopo da revisão integrativa da literatura, conforme exposto na Figura 4.1 e catalogados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Documentos incluídos na revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção

(continua)				
<b>Cód.</b>	<b>Autoria</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ano</b>
1	Nordal, H.; El-Thalji, I.	Modeling a predictive maintenance management architecture to meet industry 4.0 requirements: A case study	AP	2021
2	Parra C. et al.	Integration of Asset Management Standard ISO55000 with a Maintenance Management Model	CL	2021
3	Galesi-Torres A. et al.	Maintenance Management Model under the TPM approach to Reduce Machine Breakdowns in Peruvian Giant Squid Processing SMEs	AC	2020
4	Palomino-Valles A. et al.	TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the Construction Sector	AC	2020
5	Mong S. G.; Mohamed S. F.; Misnan M. S.	Maintenance management model: An identification of key elements for value-based maintenance management by local authority	AP	2018
6	Campos M. A. L.; Márquez A. C.	A maintenance management framework based on PAS 55	CL	2018
7	Okoh, P.; Schjolberg, P.; Wilson, A.	AMMP: a new maintenance management model based on ISO 55000	AP	2016
8	Olanrewaju, A. A.; Yeow, T. S.; Tat, L. L.	Sustainable housing maintenance management model	AP	2015
9	Campbell J. D.; Reyes-Picknell J. V.	Uptime: Strategies for excellence in maintenance management	L	2015
10	Viveros P. et al.	Proposal of a maintenance management model and its main support tools	AC	2013
11	Alexis, O.U.; Carlos, R. M., Henry I.,	Maintenance management in industrial SMEs	AC	2013
12	Fernández, J. F. G.; Márquez, A. C.	Defining maintenance management framework	CL	2012

Tabela 4.2 – Documentos incluídos na revisão integrativa da literatura de estruturas de gerenciamento de manutenção

Cód.	Autoria	Título	(conclusão)	
			Tipo	Ano
13	Campos, M. A. L.; Márquez, A. C.	Modelling a Maintenance Management Framework Based on PAS 55 Standard	AP	2011
14	Campos, M. A. L. et al.	A new maintenance management model expressed in UML	AC	2009
15	Fernández, J. F. G.; Márquez, A. C.	Framework for implementation of maintenance management in distribution network service providers	AP	2009
16	Márquez, A. C. et al.	The maintenance management framework: A practical view to maintenance management	AP	2009
17	Akasah, Z. A.; Alias, M.	Application of the generic process modelling in the preservation of heritage school buildings	AC	2009
18	Kodali, R.; Mishra, R. P.; Anand G.	Justification of world-class maintenance systems using analytic hierarchy constant sum method	AP	2009
19	Márquez, A. C.	Maintenance management characterization: Process, framework and supporting pillars	CL	2007
20	Márquez, A. C.; Gupta, J. N. D.	Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars	AP	2006
21	Hassanain, M. A.; Froese, T. M.; Vanier, D. J.	Framework model for asset maintenance management	AP	2003
22	Hassanain, M. A.; Froese, T. M.; Vanier, D. J.	Implementation of a distributed, model-based integrated asset management system	AP	2003
23	Hassanain, M. A.; Froese, T. M.; Vanier, D. J.	Development of a maintenance management model based on IAI standards	AP	2001
24	Hassanain, M. A.; Froese, T. M.; Vanier, D. J.	IFC-based data model for integrated maintenance management	AC	2000
25	Geraerds, W. M. J.	The EUT Maintenance model	AP	1992

Nota: AP = Artigo de periódico; AC = Artigo de congresso/conferência; CL = Capítulo de livro; L = Livro.

Fonte: Autoria própria

Os trabalhos incluídos na revisão integrativa passaram por uma análise crítica do conteúdo que, segundo Torracó (2005), envolve examinar cuidadosamente as principais ideias e relações de um assunto e fornecer uma avaliação de como a literatura representa a questão. Para tal, todas as estruturas de gerenciamento de manutenção presentes nos 25 documentos foram avaliadas segundo seis características:

A. A estrutura é original?

B. A estrutura é representada utilizando uma linguagem gráfica padronizada?

- C. A estrutura é alinhada às diretrizes de gestão de ativos?
- D. A estrutura baseia-se em uma abordagem cíclica?
- E. A estrutura é genérica?
- F. A estrutura é modelada em mais de um nível hierárquico?

Para o item A, considerou-se uma estrutura original aquela que não foi apresentada previamente em nenhum outro documento entre os documentos incluídos na revisão integrativa. Na sequência, verificou-se se a representação que o autor utilizou para expressar a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção utilizou uma linguagem, ou notação, gráfica padronizada. Já no item C, para a avaliação do alinhamento da estrutura à gestão de ativos, avaliou-se se os autores discutiram o assunto para o desenvolvimento da estrutura e/ou se relacionaram os itens da estrutura apresentada com as diretrizes de gestão de ativos.

Em seguida, verificou-se se a estrutura representa o gerenciamento de manutenção como um processo cíclico, ou seja, contínuo e passível de aprimoramento. Para o item E, considerou-se uma estrutura genérica aquela que foi desenvolvida e apresentada sem levar em consideração nenhum contexto de um setor ou indústria em particular. Por fim, avaliou-se se a estrutura proposta foi modelada em mais de um nível hierárquico, ou seja, se os elementos representados na estrutura em seu nível mais geral foram desdobrados e detalhados em outros diagramas de modo a explicitar os seus subelementos.

O resultado da avaliação dos documentos segundo essas características é apresentado na Tabela 4.3 para melhor visualização. Cabe destacar que os documentos foram listados por meio do código numérico atribuído na Tabela 4.2 e as características de avaliação com os códigos de A até F. Uma vez que as respostas possíveis dessas avaliações são sim ou não, representou-se com um 'X' todas as respostas positivas e com um traço as negativas.

A análise de conteúdo dos documentos identificou 17 estruturas de gerenciamento de manutenção originais entre os 25 documentos incluídos na revisão integrativa. Em outras palavras, oito documentos replicaram estruturas já propostas anteriormente em outros documentos. Isso acontece, por exemplo, quando os autores apresentam a estrutura em um congresso/conferência e, posteriormente, aprimoram o trabalho para um artigo de periódico ou livro. Assim, vale destacar que a estrutura do documento 2 foi originalmente apresentada no documento de código 16 enquanto

que as estruturas dos documentos 6 e 13 foram originadas no documento 14. Já o documento 12 apresenta a mesma estrutura do documento 15. Por fim, a estrutura presente nos documentos 21, 22 e 23 são decorrentes do documento de código 24, enquanto a estrutura do documento 19 foi originada no documento 20.

Tabela 4.3 – Comparação entre as estruturas de gerenciamento de manutenção

<b>Cód.</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
1	X	X	-	X	X	X
2	-	-	X	X	X	-
3	X	-	-	X	-	X
4	X	-	-	X	-	-
5	X	-	-	X	-	-
6	-	X	X	X	X	X
7	X	-	X	X	X	-
8	X	-	-	X	-	X
9	X	-	-	X	X	X
10	X	-	-	X	X	-
11	X	-	-	X	X	-
12	-	X	-	X	-	-
13	-	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X
15	X	X	-	X	-	-
16	X	-	-	X	X	-
17	X	X	-	-	-	-
18	X	-	-	-	X	-
19	-	-	-	X	X	-
20	X	-	-	X	X	-
21	-	X	-	-	X	X
22	-	X	-	-	X	-
23	-	X	-	-	X	X
24	X	X	-	-	X	-
25	X	-	-	-	X	-

Nota: A = Originalidade; B = Uso de linguagem padronizada; C = Alinhamento com a gestão de ativos; D = Abordagem cíclica; E = Estrutura genérica; F = Modelada em mais de um nível.

Fonte: Autoria própria

Entre as estruturas originais, observou-se a predominância de representações não padronizadas para modelar o gerenciamento de manutenção. Somente cinco das 17 estruturas originais (29%) apresentaram o gerenciamento da manutenção por meio de linguagens padrões que facilitaram o entendimento deste processo. Hassanain, Froese e Vanier (2000) (cód. 24) apresentaram o gerenciamento de manutenção por meio da linguagem de modelagem IDEF (*Integration Definition*) com o diagrama zero

para modelagem de funções (IDEF<sub>0</sub>). Esse mesmo tipo de diagrama também foi utilizado, posteriormente, por Akasah e Alias (2009), Fernández e Márquez (2009) e Nordal e El-Thalji (2021) (cód. 17, 15 e 1). Por sua vez, Campos et al. (2009) (cód. 14) utilizaram diagramas da Linguagem de Modelagem Unificada (do inglês, *Unified Modeling Language*, UML) para detalhar alguns elementos presentes na estrutura proposta que seria ainda mais detalhada com o uso de outros diagramas em trabalhos futuros (cód. 6 e 13) (CAMPOS; MÁRQUEZ, 2011, 2018).

Dado que a gestão de ativos é uma disciplina contemporânea, era esperado que os documentos mais antigos não considerassem esse assunto para a elaboração de uma estrutura de gerenciamento de manutenção. Observou-se que apenas cinco dos 25 documentos incluídos na revisão integrativa (20%) discutem a gestão de ativos ao longo do texto. Entre as 17 estruturas de gerenciamento de manutenção originais, apenas duas expressaram considerar as diretrizes de gestão de ativos no seu desenvolvimento. Campos et al. (2009) (cód. 14) utilizaram informações presentes na PAS 55, enquanto que Okoh, Schjøberg e Wilson (2016) (cód. 7) as orientações gerais da série ISO 55000. Cabe destacar que, embora Márquez et al. (2009) (cód. 16) não tenham expressado o alinhamento com a gestão de ativos para a elaboração da estrutura de gerenciamento de manutenção, recentemente, Parra et al. (2021) (cód. 2) discutiram quais são as interfaces dessa com a série de normas ISO 55000.

Quanto à abordagem cíclica do gerenciamento de manutenção, evidenciou-se que 13 das 17 estruturas originais (76%) expressaram formalmente a ideia de que o gerenciamento de manutenção pode ser aprimorado por meio da retroalimentação dos seus resultados. De modo geral, observa-se que todos os documentos mais atuais (cód. 1 a 16) ressaltam esse aspecto da melhoria continuada e processo cíclico do gerenciamento de manutenção. Observou-se também uma predominância em apresentar estruturas de gerenciamento de manutenção genéricas nos documentos. 11 das 17 estruturas originais (65%) não se limitam à um setor ou indústria particular.

Por fim, verificou-se que em 16 dos 25 (64%) documentos a estrutura proposta para gerenciamento de manutenção é apresentada e discutida em um único nível. Em outras palavras, observou-se uma tendência entre os autores de não detalhar em níveis inferiores os elementos incluídos na estrutura em seu nível mais amplo. Apenas cinco das 17 estruturas originais (29%) detalharam em mais de um nível a estrutura proposta. Isso pode impactar a compreensão e implementação da estrutura visto que pode não ficar evidente para o leitor o que abrange esses elementos.

A comparação das estruturas de gerenciamento de manutenção dispostas na Tabela 4.3 colabora com uma visão geral de como a literatura tem abordado o gerenciamento de manutenção em termos das características relativas à modelagem e representação dessas estruturas. No entanto, essa comparação não possibilitou um panorama em relação aos elementos que compõem essas estruturas. Dessa forma, foi realizada uma avaliação das estruturas também em relação aos seus conteúdos.

Para tal, as 17 estruturas de gerenciamento de manutenção originais foram comparadas em relação aos elementos que integram cada estrutura em seu nível mais geral, conforme exposto na Tabela 4.4. Cabe destacar que essas estruturas foram listadas por meio dos mesmos códigos numéricos atribuídos aos seus documentos de origem (Tabela 4.2). Além disso, a nomenclatura dos elementos foi padronizada a fim de englobar as variações de terminologia para elementos análogos identificados em diferentes estruturas.

De modo geral, pode-se evidenciar que o 'Planejamento de manutenção' e a 'Execução de manutenção' são os elementos mais representados nas estruturas de gerenciamento de manutenção incluídas na revisão integrativa, respectivamente em 82% e 70% das estruturas. Essas atividades podem ser interpretadas como fundamentais visto que estão presentes no escopo do gerenciamento de manutenção mesmo nas estruturas mais antigas. No entanto, dado que a maioria das estruturas é apresentada apenas em seu nível mais geral, esses elementos não são aprofundados.

A comparação dos resultados expostos na Tabela 4.4 também permite destacar que os elementos 'Avaliação da manutenção' e 'Melhoria da manutenção' estão contemplados em pouco mais da metade das estruturas de gerenciamento de manutenção, 59% e 53% respectivamente. Essas atividades são essenciais para efetivar a abordagem cíclica do gerenciamento de manutenção em busca de melhores resultados a partir da avaliação do desempenho da manutenção e do tratamento dos resultados e incidentes indesejados.

Elementos relativos à 'Elaboração de planos de manutenção', 'Programação de manutenção' e 'Controle de manutenção' foram explicitamente evidenciados em cerca de apenas um terço das estruturas de gerenciamento de manutenção. Dado que essas atividades são relacionadas com o elemento de 'Planejamento de manutenção', os autores podem ter decidido torná-las implícitas no nível geral da estrutura. No entanto, dado que a maioria das estruturas não é aprofundada em mais de um nível, nem sempre é possível confirmar isso.

Tabela 4.4 – Comparação dos elementos nas estruturas de gerenciamento de manutenção

<b>Código da estrutura</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
Objetivos e estratégia de manutenção	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Definição dos ativos físicos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Definição dos requisitos de desempenho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Elaboração dos planos de manutenção	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-
Planejamento de manutenção	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X
Programação de manutenção	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X	-	X
Execução de manutenção	X	-	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X
Controle de manutenção	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X
Avaliação da manutenção	X	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	-	-
Melhoria da manutenção	X	X	-	X	X	-	X	-	X	X	-	X	-	X	-	-	-
Otimização de manutenção	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Avaliação da condição dos ativos físicos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-
Priorização dos ativos físicos	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Registro das informações de manutenção	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
Gestão dos recursos de manutenção	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Tratamento de incidentes de manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-
Manutenção Produtiva Total (MPT)	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5S	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liderança e recursos humanos	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Análise do ciclo de vida (ACC)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
CMMS	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Saúde, segurança e meio ambiente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-

Fonte: Autoria própria

Com exceção de 'Objetivos e estratégia de manutenção' e 'Gestão de recursos de manutenção' todos os demais elementos da Tabela 4.4 são representados em cerca de apenas 15% ou menos das estruturas de gerenciamento de manutenção. A definição dos objetivos e da estratégia de manutenção em algumas estruturas (35%) é o ponto de partida de partida ou suporte para outros elementos do gerenciamento de manutenção. Por sua vez, em 24% das estruturas, é representada a gestão dos recursos de manutenção tais como materiais e sobressalentes no nível geral do gerenciamento de manutenção.

Por fim, os elementos menos comuns entre as estruturas estão associados com ferramentas (ex. CMMS), abordagens (ex. MPT, MCC, 5S, ACC) ou outros papéis dentro da organização (ex. Liderança e recursos humanos). De modo geral, esses elementos estão presentes em estruturas de caráter mais conceitual, ou seja, que não representam o gerenciamento de manutenção sob a abordagem de modelagem de processos, por exemplo. Nessas estruturas, esses elementos estão presentes sem necessariamente mostrar a relação com os demais, seja hierárquica ou sequencial.

Esses dois recortes sobre as estruturas de gerenciamento de manutenção presentes na literatura, Tabelas 4.3 e 4.4, contribuíram para embasar as considerações que foram seguidas na elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Além disso, na próxima seção, apresentam-se os resultados da revisão integrativa acerca das diretrizes de gestão de ativos que também apoiaram essas considerações. Assim, a discussão dessas considerações com base nas duas revisões é exposta na Seção 4.3.

## **4.2 DIRETRIZES PARA A GESTÃO DE ATIVOS**

A segunda revisão integrativa teve como tópico de investigação a disciplina de gestão de ativos. Buscou-se identificar as principais diretrizes utilizadas na literatura que aborda a gestão de ativos no escopo do gerenciamento de manutenção para uma análise crítica de conteúdo. Dessa forma, essa etapa da pesquisa examinou e sintetizou quais são as diretrizes mais relevantes para a gestão de ativos físicos nas pesquisas na área de manutenção. Esse resultado também contribuiu para as considerações para a elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos discutida na próxima seção deste capítulo.



De modo análogo à revisão integrativa anterior, a coleta de dados foi conduzida nas bases de dados *Core collection* do Web of Science, Scopus e IEEE Xplore visto que estão entre as mais relevantes bases de dados de produção científica. Nesta ocasião, a consulta combinou o termo ‘gestão de ativos’ com os termos ‘manutenção’, ‘diretriz(es)’ e ‘norma(s)’, em inglês, para formar o texto de busca (*Search string*). A fim de tornar essa identificação de documentos mais ampla, não houve restrição no período de busca, considerando os documentos de todos os anos. Além disso, também não foi restringido o tipo de documento na busca às bases de dados.

Essas definições compuseram o protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de diretrizes para a gestão de ativos, conforme apresentadas na Tabela 4.5.

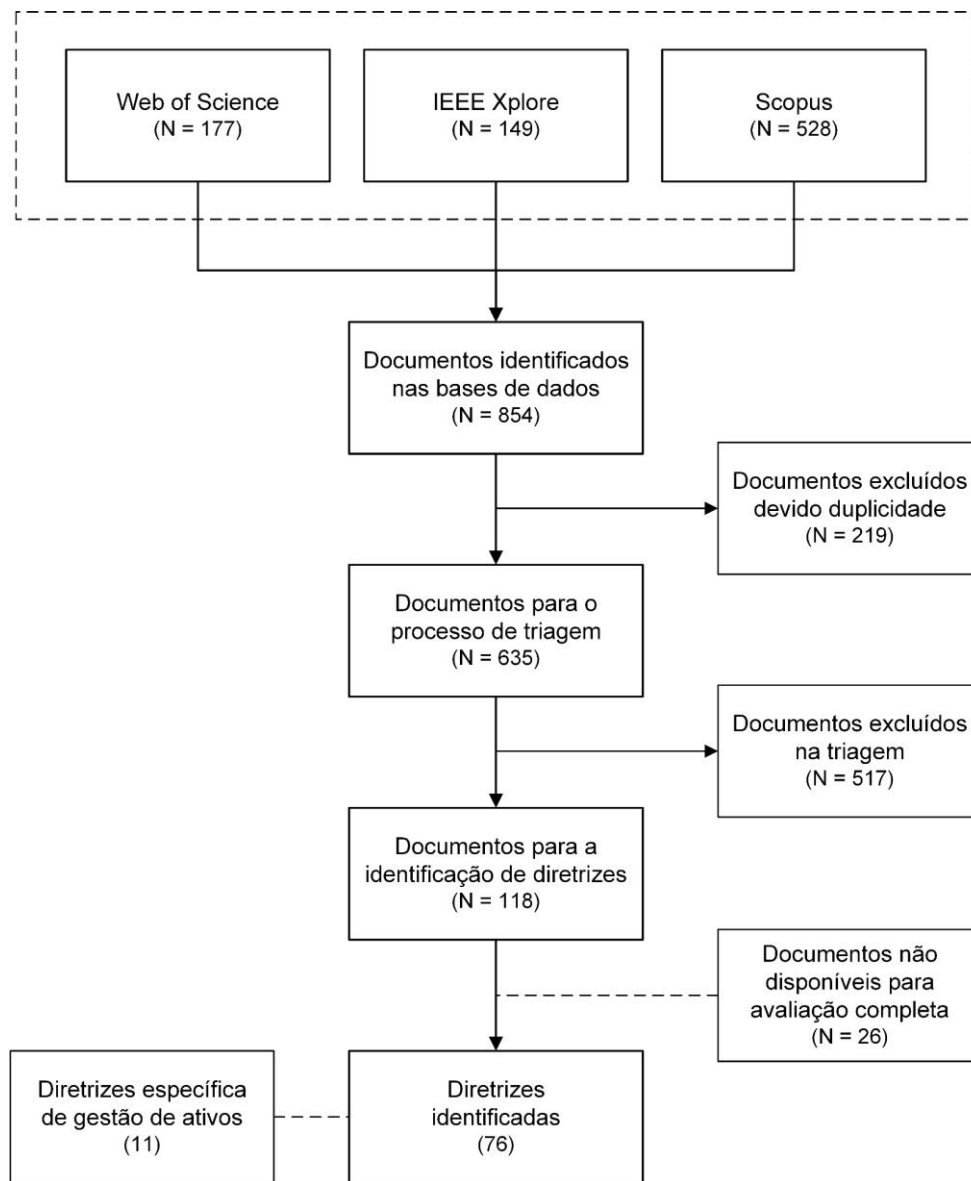
Tabela 4.5 – Protocolo de coleta de dados da revisão integrativa da literatura de diretrizes para a gestão de ativos

<b>Tópico</b>	<b>Definição</b>
Palavras-chave	<i>asset management, maintenance, guideline e standard</i>
Bases de dados	<i>Core collection</i> do Web of Science, Scopus e IEEE Xplore
Texto de busca	“ <i>asset management</i> ” AND “ <i>maintenance</i> ” AND (“ <i>guideline</i> ” OR “ <i>standard</i> ”)
Local de busca	Tópicos (engloba título, resumo e palavras-chave)
Período de busca	Todos os anos
Tipo de documentos	Todos os tipos de documentos
Data da coleta	19 de maio de 2021

Fonte: Autoria própria

A partir do protocolo de coleta, foram identificados um total de 854 documentos com a pesquisa nas três bases de dados. Desses, 219 foram excluídos devido à duplicidade, resultando em um total de 635 documentos, conforme exposto na Figura 4.2. Na sequência, esses documentos foram submetidos ao processo de triagem que contemplou a leitura do título, do resumo e das palavras-chave de cada um dos documentos para avaliar a sua relevância em relação ao propósito dessa revisão integrativa. Documentos que não expressaram diretamente o uso de alguma diretriz para o desenvolvimento da pesquisa foram excluídos da revisão integrativa.

Figura 4.2 – Estratégia de pesquisa para identificar as principais diretrizes para a gestão de ativos



Fonte: Autoria própria

Logo, o processo de triagem eliminou 517 documentos, restando 118 documentos para avaliação. Essa atividade contemplou o acesso aos documentos e a leitura do trabalho por completo a fim de evidenciar quais eram as diretrizes referenciadas e como têm contribuído para as pesquisas que abordam a gestão de ativos no contexto do gerenciamento de manutenção. Cabe ressaltar que para os 26 documentos que não se conseguiu acessar para a avaliação completa do conteúdo, utilizou-se somente as informações disponíveis no resumo.

Foram identificadas um total de 76 diretrizes sendo que 11 dessas são específicas de gestão de ativos e, portanto, foram selecionadas para o escopo dessa revisão integrativa da literatura. Essas 11 diretrizes foram catalogadas e apresentadas na Tabela 4.6 onde também se destacou a quantidade de documentos (Quant. docs.) em que elas foram utilizadas dentre os documentos avaliados.

Tabela 4.6 – Diretrizes para a gestão de ativos incluídas na revisão integrativa

Sigla	Autoria	Título	Tipo	Ano	Quant. docs.
ISO 55000	ISO	Asset management — Overview, principles and terminology	N	2014	42
PAS 55-1	BSI	Asset management — Part 1: Specification for the optimized management of physical assets	E	2008	35
ISO 55001	ISO	Asset management — Management systems — Requirements	N	2014	27
ISO 55002	ISO	Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001	N	2018	14
PAS 55-2	BSI	Asset management — Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1	E	2008	9
IAM Anatomy	IAM	Asset management — An anatomy	P	2015	8
HIAMG	UK RLG	Highway infrastructure asset management guidance	P	2013	3
39 Subjects	GFMAN	The asset management landscape	P	2014	2
AMBoK	AM Council	Asset management body of knowledge	P	2014	2
IIMM	IPWEA	International infrastructure management manual	P	2015	2
NTA 8120	NEN	Asset management — Requirements for a safety, quality and capacity management system for electricity and gas network operations	N	2020	1

Nota: UK RLG = UK Road Liaison Group; AM Council = Asset Management Council; IPWEA = Institute of Public Works Engineering Australasia; NEN = Royal Netherlands Standardization Institute  
 Nota 2: N = Norma; E = Especificação; P = Publicação para orientação e informação

Fonte: Autoria própria

As demais diretrizes não foram incluídas na revisão integrativa pois não abordam diretamente a gestão de ativos em seus escopos. Em outras palavras, essas diretrizes são em sua maioria normas e referências técnicas que tratam de temas específicos do gerenciamento de manutenção no âmbito geral ou para indústrias específicas (ex. óleo e gás, infraestrutura civil, etc.). Logo, essas diretrizes não são tão relevantes quanto as específicas de gestão de ativos para a elaboração de uma

proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção que esteja alinhada com a disciplina de gestão de ativos.

Cabe destacar que pode ser pertinente a consulta dessas outras diretrizes durante a implementação da estrutura proposta a fim de suportar a implantação adequada de processos ou atividades específicas do gerenciamento de manutenção ou considerar as melhores práticas para determinado setor industrial. Para uma melhor compreensão, a Tabela 4.7 apresenta as outras diretrizes identificadas de maior relevância com base na quantidade de documentos em que foram utilizadas.

Tabela 4.7 – Outras diretrizes de apoio aos processos e atividades do gerenciamento de manutenção

Sigla	Autoria	Título	Tipo	Ano	Quant. docs.
COST ACTION TU1406	COST	Quality Specifications for Roadway Bridges, Standardization at a European Level (BridgeSpec)	P	2014	11
API 581	API	Risk-Based Inspection Technology	P	2016	4
HDM-4	WBG	Highway Development and Management Model	P/S	1999	3
IEC 61850	IEC	Communication networks and systems for power utility automation	N	2013	3
ISA-S95	ISA	Enterprise-Control System Integration	N	2010	3
EN 16646	ES	Maintenance — Maintenance within physical asset management	N	2014	3
ISO 13374	ISO	Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation	N	2012	2
ISO 14224	ISO	Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment	N	2016	2
AP-913	INPO	Equipment reliability process description	P	2001	2
EN 15341	ES	Maintenance — Maintenance Key Performance Indicators	N	2019	2
AS/NZS 3788	SA/SNZ	Pressure equipment — In-service inspection	N	2015	2

Nota: COST = European Cooperation in Science and Technology; API = American Petroleum Institute; WBG = World Bank Group; IEC = International Electrotechnical Commission; ISA = International society of automation; ES = European Standards; INPO = Institute of Nuclear Power Operations; SA = Standards Australia; SNZ = Standards New Zealand

Nota 2: N = Norma; P = Publicação para orientação e informação; S = *Software*

Fonte: Autoria própria

De modo análogo à revisão integrativa anterior, as 11 diretrizes específicas de gestão de ativos incluídas na revisão integrativa, expostas na Tabela 4.6, passaram por uma análise crítica do conteúdo. Para tal, todas essas diretrizes foram avaliadas diante de um conjunto de características e o resultado foi apresentado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Comparação entre as diretrizes específicas de gestão de ativos

Diretriz	Especifica requisitos?	Passível de certificação?	Está vigente?	Possui contexto genérico?	Traduzida para o Brasil?	Considera a série ISO 55000?
ISO 55000	-	-	SIM	SIM	SIM	N/A
PAS 55-1	SIM	SIM	-	SIM	SIM	SIM
ISO 55001	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A
ISO 55002	-	-	SIM	SIM	SIM	N/A
PAS 55-2	-	-	-	SIM	SIM	SIM
IAM Anatomy	-	-	SIM	SIM	-	SIM
HIAMG	-	-	SIM	-	-	-
39 Subjects	-	-	SIM	SIM	-	SIM
AMBoK	-	-	SIM	SIM	-	SIM
IIMM	-	-	SIM	-	-	SIM
NTA 8120	SIM	SIM	SIM	-	-	SIM

Fonte: Autoria própria

Embora todas essas diretrizes abordem diretamente a disciplina de gestão de ativos, há diferenças entre si em relação às características avaliadas conforme evidente na Tabela 4.8. Somente três das 11 diretrizes trazem explicitamente requisitos formais a serem atendidos pelas organizações. São elas a PAS 55-1, a norma ISO 55001 e a NTA 8120. Como consequência, somente essas três diretrizes são passíveis de obter certificação de conformidade com seus requisitos. No entanto, com a publicação da norma ISO 55001, a PAS 55-1 foi retirada (*withdrawn*) pelo BSI e não está mais em vigência. Isto significa que a especificação da série PAS 55 está disponível somente para referência devido à substituição pela série ISO 55000.

Quanto à abrangência dessas diretrizes, em sua grande maioria, discute-se a disciplina de gestão de ativos para um contexto genérico de organização. Ou seja, não é considerada as particularidades de nenhuma indústria ou setor específicos. Contudo, pode-se observar que as diretrizes HIAMG, IIMM e NTA 8120 são exceções visto que são direcionadas, respectivamente, à infraestrutura rodoviária, aos ativos de

infraestrutura, e redes de eletricidade e gás. Além disso, vale mencionar que, com exceção da série ISO 55000 que pode ser estendida a outros tipos de ativos (ABNT, 2014a), todas as outras diretrizes são direcionadas para a gestão de ativos físicos.

Quanto à disponibilidade dessas diretrizes no Brasil, observou-se que somente a série ISO 55000, contemplando as normas ABNT NBR ISO 55000, 55001, 55002 e, recentemente, 55010, e a série PAS 55, abrangendo as especificações PAS 55-1 e PAS 55-2 foram traduzidas para o Brasil e estão disponíveis em português. As demais diretrizes não possuem versões nacionais e estão disponíveis em inglês, exceto a NTA 8120 que foi publicada em holandês.

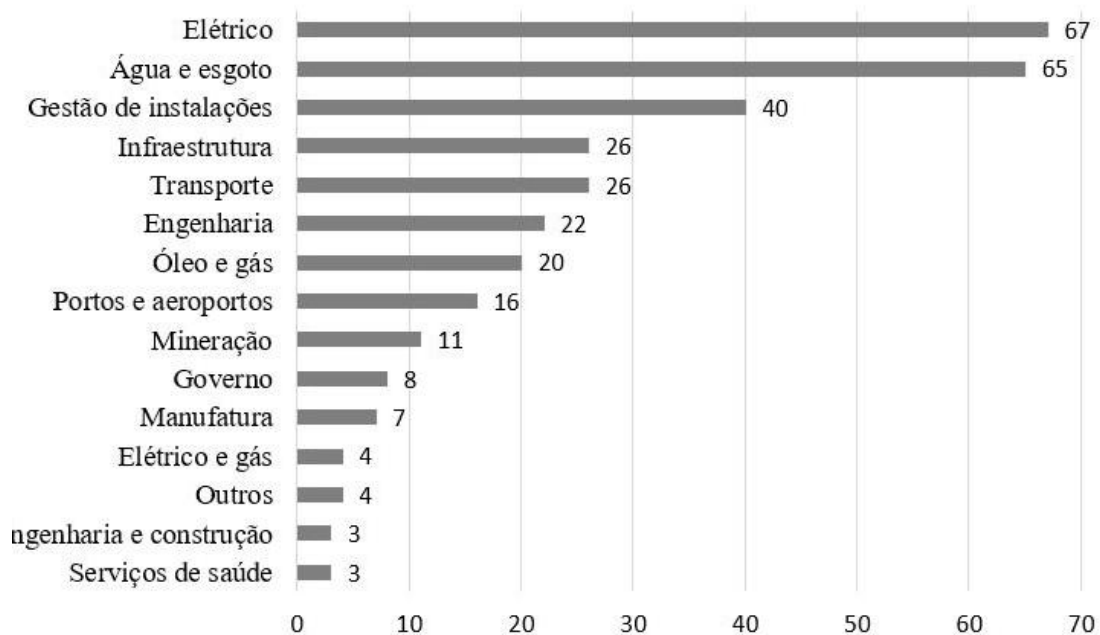
Por fim, avaliou-se o impacto da publicação da série ISO 55000 para gestão de ativos nas demais diretrizes listadas. Como pode-se observar, somente o HIAMG não considerou essa série de normas visto que foi desenvolvido anteriormente. Desde então, esse guia para gerenciamento de ativos de infraestrutura rodoviária não teve novas versões. Por sua vez, as especificações da série PAS 55 foram retiradas e substituídas pela série ISO 55000 visto que foram a base para o desenvolvimento dessas normas internacionais. Já as demais diretrizes, todas passaram por atualizações e publicações de novas versões após considerarem o conteúdo disposto na série ISO 55000 para gestão de ativos.

De modo geral, os resultados da comparação entre essas 11 diretrizes específicas de gestão de ativos contribuíram para destacar a relevância da série ISO 55000 para a disciplina de gestão de ativos. Isso é reiterado pelo crescente número de organizações que estabeleceram um sistema de gestão de ativos segundo seus requisitos e diretrizes. O Comitê Técnico ISO 251 listou 322 organizações certificadas na ISO 55001 em todo o mundo (ISO, 2022). Essas certificações são predominantes em organizações europeias (36%), asiáticas (25,2%) e da Oceania (23,6%). Austrália (72), Japão (53), Holanda (46), Reino Unido (31) e Emirados Árabes Unidos (11) representam cerca de 66,1% de todas as organizações mundiais e são os principais países certificados na norma ISO 55001. A América do Sul representa apenas cerca de 4,9% com 16 organizações certificadas, sendo seis dessas no Brasil, cinco na Argentina, duas no Chile, duas na Colômbia e uma no Peru.

Na Figura 4.3, apresenta-se o número total de organizações certificadas na norma internacional ISO 55001 de acordo com o setor de atuação das organizações. Observa-se que os setores elétrico, de água e esgoto, de gestão de instalações (*facilities*), de infraestrutura e de transporte são as principais áreas das organizações

certificadas. A predominância dessas áreas corrobora a importância da gestão de ativos para setores intensivos em ativos, conforme discutido anteriormente (GFMAN, 2016b; KONSTANTAKOS; CHOUNTALAS; MAGOUTAS, 2019).

Figura 4.3 – Número de organizações certificadas na norma ISO 55001 por setor



Fonte: Autoria própria

Além disso, essas considerações reforçam o resultado da coleta de dados, exposto na Tabela 4.7, onde as normas da série ISO 55000 estavam entre as mais utilizadas para o embasamento das pesquisas de gerenciamento de manutenção no contexto da gestão de ativos físicos. Dessa forma, é pertinente que essa revisão aprofunde a exploração da série ISO 55000 para gestão de ativos em mais detalhes devido a sua relevância entre as demais diretrizes.

#### 4.2.1 Série de normas ISO 55000 para a gestão de ativos

A série ISO 55000, lançada em 2014, é o primeiro padrão internacional oficial da disciplina de gestão de ativos que alcançou um consenso global. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55000:2014, a “cooperação internacional na preparação destas normas identificou práticas comuns que podem ser aplicadas para a mais ampla gama de ativos, na mais ampla escala de organizações, por meio da mais ampla diversidade de culturas” (ABNT, 2014a). A série é composta por quatro normas cujos escopos são

detalhados na Tabela 4.9. Aqueles que estão envolvidos no estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de ativos (SGA) devem focar, principalmente, nas normas ABNT NBR ISO 55001 e 55002. Além disso, essas duas normas destinam-se também àqueles envolvidos no fornecimento de atividades de gestão e prestadores de serviços (ABNT, 2014b, 2020).

Tabela 4.9 – Série de normas nacionais ISO 55000 para gestão de ativos

<b>Norma</b>	<b>Título</b>	<b>Escopo</b>
ABNT NBR ISO 55000 (2014)	Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia	Fornecer uma visão geral de gestão de ativos, seus princípios e terminologia, e os benefícios esperados com a adoção da gestão de ativos
ABNT NBR ISO 55001 (2014)	Gestão de ativos – Sistemas de gestão – Requisitos	Especificar requisitos para um sistema de gestão de ativos dentro do contexto da organização
ABNT NBR ISO 55002 (2020)	Gestão de ativos – Sistemas de gestão – Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001	Fornecer diretrizes para a aplicação de um sistema de gestão de ativos de acordo com os requisitos da ABNT NBR ISO 55001
ABNT NBR ISO 55010 (2021)	Gestão de ativos – Orientação sobre o alinhamento das funções financeiras e não financeiras na gestão de ativos	Fornecer diretrizes para o alinhamento entre funções financeiras e não financeiras como parte do sistema de gestão de uma organização

Fonte: Autoria própria

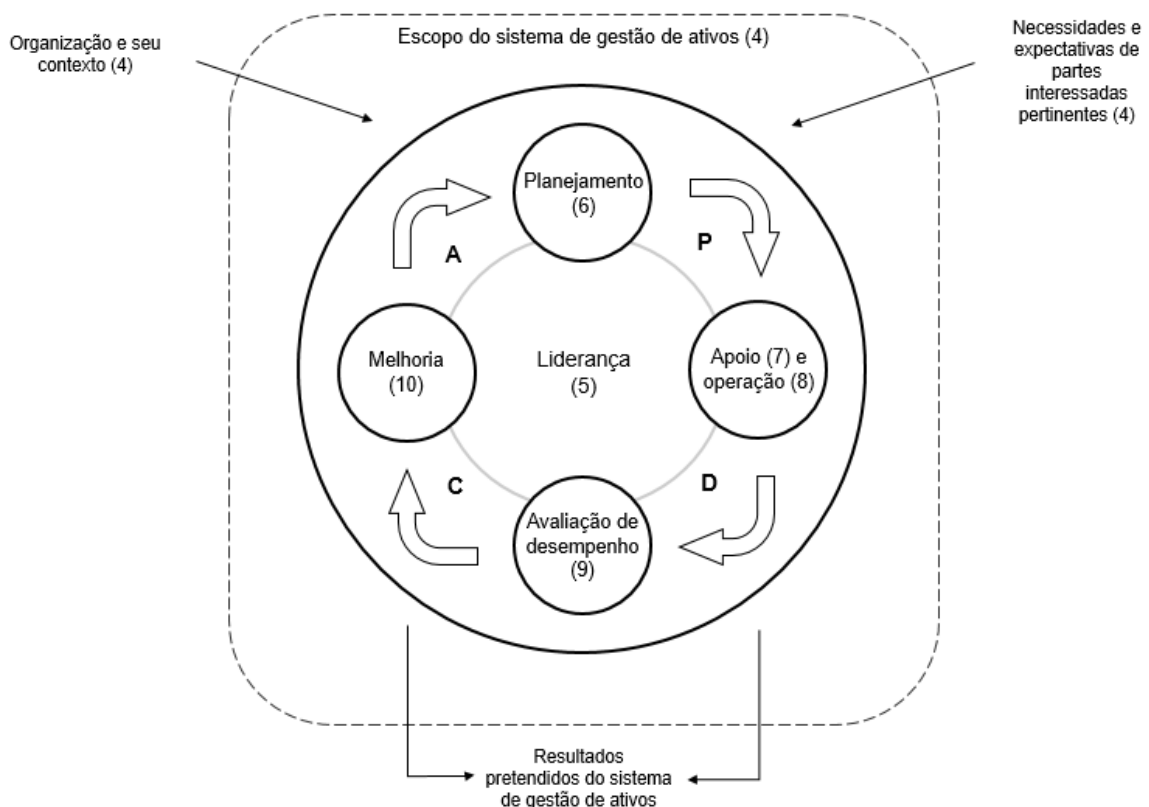
Cabe ressaltar que a série não é especificamente sobre a manutenção e a confiabilidade, mas uma estrutura capaz de ser aplicável a todos os estágios do ciclo de vida dos ativos (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2017). Do mesmo modo, os ativos físicos, enfoque deste trabalho, não são as únicas possibilidades de incorporação no escopo do sistema de gestão de ativos. Para a ABNT NBR ISO 55001:2014, a organização determina a qual ou quais de seus ativos a norma se aplica (ABNT, 2014b).



Para Hodkiewicz (2015), a especificação PAS 55, publicação de referência para o desenvolvimento da série ISO 55000, focava, principalmente, no gerenciamento de ativos e sistemas de ativos físicos, enquanto a norma ABNT NBR ISO 55001:2014 tem uma missão mais ampla. A série de normas ISO 55000 expandiu ainda mais o escopo da gestão de ativos para incluir todos os ativos, não apenas os ativos físicos (WIJNIA; DE CROON, 2015). No entanto, os pontos mais importantes da PAS 55 foram preservados (WOODHOUSE, 2014).

A base para a abordagem que sustenta a série de normas da ISO 55000 é fundamentada no conceito do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), reconhecido como a base para melhoria continuada dos sistemas de gestão (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2016). Dessa forma, representou-se a estrutura da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 no ciclo PDCA de forma análoga às estruturas do Sistema de Gestão da Qualidade na norma ABNT NBR ISO 9001:2015 (ABNT, 2015a) e Sistema de Gestão Ambiental na norma ABNT NBR ISO 14001:2015 (ABNT, 2015b), conforme Figura 4.4 (DA SILVA; DE SOUZA, 2020).

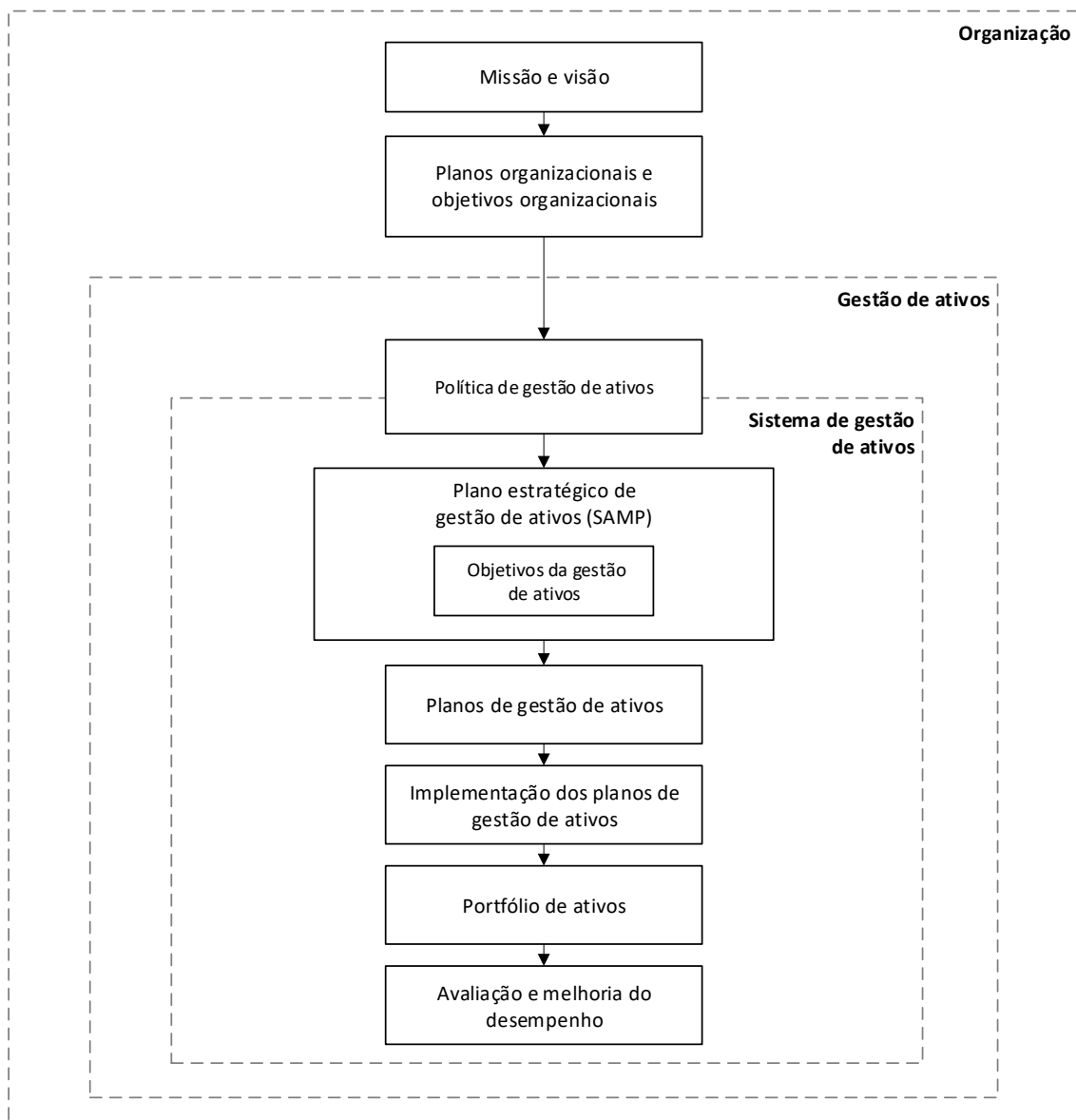
Figura 4.4 – Estrutura da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 no ciclo PDCA



Fonte: Autoria própria

Um sistema de gestão de ativos (SGA) é o termo utilizado na série de normas ISO 55000 para se referir a um sistema de gestão para gestão de ativos (ABNT, 2014a). Segundo a norma ABNT NBR ISO 55002:2020, o SGA inclui a política de gestão de ativos, os objetivos da gestão de ativos, o Plano estratégico de gestão de ativos (*Strategic Asset Management Plan, SAMP*) e os planos de gestão de ativos (ABNT, 2020). Para melhor compreensão, representou-se a relação de impacto e os limites entre esses e outros termos principais da gestão de ativos na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Relação entre termos-chave da gestão de ativos



Fonte: Adaptado de ABNT (2014a)

Em comparação à série PAS 55, a estrutura da especificação dos requisitos é alterada substancialmente visando alinhamento com o recente padrão da ISO para as normas de sistemas de gestão que facilita sua integração (WOODHOUSE, 2014). Todos os padrões de sistema de gestão (*management system standard*, MSS) devem, em princípio, utilizar estrutura consistente, texto e terminologias comuns para que sejam fáceis de usar e compatíveis entre si (ISO, 2018). Esse requisito é fundamental para fornecer uma estrutura unificada e acordada de alto nível, texto central idêntico, termos comuns e definições básicas. A abordagem comum aos novos MSS, e revisões futuras de normas existentes, aumentará o valor desses padrões aos usuários.

Essa diretriz é particularmente útil para as organizações que optam por um sistema de gestão integrado, também referenciado como único, que visa atender aos requisitos de dois ou mais MSS ao mesmo tempo (ISO, 2018). Dessa forma, o sistema de gestão de ativos com base na norma ABNT NBR ISO 55001:2014 possibilita a gestão integrada com outras normas, tais como as séries ISO 9001 e 14001, pois compartilham da mesma estrutura e elementos, conforme Tabela 4.10. Segundo a ABNT NBR ISO 55001:2014, a ordem em que os requisitos são apresentados na norma não reflete sua importância ou implica na ordem em que devem ser implementados (ABNT, 2014b).

Tabela 4.10 – Estrutura das normas ABNT NBR ISO 55001, 9001 e 14001

<b>N.</b>	<b>Seção</b>	<b>N.</b>	<b>Seção</b>
1	Escopo	6	Planejamento
2	Referências normativas	7	Apoio
3	Termos e definições	8	Operação
4	Contexto da organização	9	Avaliação de desempenho
5	Liderança	10	Melhoria

Fonte: Autoria própria

Na primeira seção, Escopo, especifica-se o propósito da norma, conforme exposto na Tabela 4.9. A seção Referências normativas relaciona as normas da série ISO 55000 entre si como indispensáveis para a aplicação do sistema de gestão de ativos. Já a terceira seção destaca a norma ABNT NBR ISO 55000:2014 Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologias como a fonte para consulta de termos

e definições. Na sequência, os elementos de um sistema de gestão de ativos são devidamente detalhados nas seções 4 a 10 da norma ABNT NBR ISO 55001:2014.

Logo, inicia-se propriamente a especificação dos requisitos para um sistema de gestão de ativos com a seção 4, Contexto da organização. De modo geral, a seção requisita que a organização deva entender o seu contexto, as suas finalidades, e as necessidades e expectativas das partes interessadas. Isso contribui para a definição dos objetivos organizacionais que, por sua vez, influenciam o projeto e escopo do sistema de gestão de ativos (ABNT, 2014a). Com base nessas informações, a organização deve determinar e documentar o limite e a aplicabilidade do sistema de gestão de ativos para estabelecer o seu escopo e, conseqüentemente, o portfólio de ativos coberto pelo sistema (ABNT, 2014b).

A quinta seção, Liderança, é exclusiva para apresentar os requisitos relacionados à liderança da organização. Destaca-se o comprometimento da alta direção para o sucesso do sistema de gestão de ativos e os requisitos para o estabelecimento da política de gestão de ativos e para as atribuições de autoridades, responsabilidades e papéis organizacionais. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55000:2014, a alta direção é responsável pelo desenvolvimento da política de gestão de ativos e dos objetivos da gestão de ativos e de alinhá-los com os objetivos da organização (ABNT, 2014a). Já os líderes, em todos os níveis, estão envolvidos no planejamento, implementação e operação desse sistema.

É na sexta seção, Planejamento, em que são expostos os requisitos de planejamento para os objetivos da gestão de ativos e de como alcançá-los. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55001:2014, os objetivos da gestão de ativos precisam ser estabelecidos e documentados pela organização para as funções e níveis relevantes de forma consistente e alinhada com os objetivos organizacionais (ABNT, 2014b). Ao planejar como alcançá-los, a organização deve determinar e documentar, por exemplo, os métodos e critérios de tomada de decisão e de priorização das atividades e recursos, os processos a serem empregados no gerenciamento dos ativos ao longo de seus ciclos de vida, o que será feito, quais os recursos necessários, quem será responsável, quando será realizado, como os resultados serão avaliados, entre outros pontos (ABNT, 2014b). A seção de planejamento também aborda requisitos para tratar os riscos e oportunidades para o sistema de gestão de ativos a fim de garantir que o sistema alcance os resultados pretendidos, a melhoria continuada e previna os efeitos indesejados (ABNT, 2014b).

O sistema de gestão de ativos exige colaboração com várias partes de uma organização que, frequentemente, compartilham recursos (ABNT, 2014a). Dessa forma, a sétima seção, Apoio, dedica-se exclusivamente a apresentar os requisitos de suporte para a implantação do sistema de gestão de ativos em subseções específicas: Recursos, Competência, Conscientização, Comunicação, Requisitos de informação e Informação documentada.

A oitava seção, Operação, inicia-se com a apresentação dos requisitos de planejamento operacional e controle para a implementação das ações determinadas nas seções Planejamento (6) e Melhoria (10). Os processos necessários para atender esses requisitos e implementar tais ações devem ser planejados, implementados e controlados por meio do estabelecimento de critérios para os processos requeridos, da implementação do controle dos processos em conformidade com esses critérios e da manutenção das informações documentadas necessárias (ABNT, 2014b). Além disso, esta seção também destaca os requisitos relativos ao gerenciamento de mudanças e, se aplicável, de terceirização.

Por fim, as duas últimas seções da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 apresentam os requisitos de Avaliação de desempenho e Melhoria, respectivamente nas seções 9 e 10. Na nona seção, expõem-se os requisitos referentes aos processos de monitoramento, medição, análise e avaliação, de auditoria interna e de análise crítica pela direção. Essas são as diferentes formas de avaliação de desempenho exigidas da organização para um sistema de gestão de ativos em conformidade com a série ISO 55000. Em seguida, a última seção, Melhoria, apresenta os requisitos para efetivação da melhoria continuada aplicáveis aos ativos, às atividades de gestão de ativos e ao sistema de gestão de ativos. Isso pode englobar a identificação de oportunidades de melhorias e tratamento de não conformidade e não conformidades potenciais (ABNT, 2014b).

Para Woodhouse (2014), a série ISO 55000 é a primeira tentativa mundial de identificar, de forma genérica, os requisitos obrigatórios aplicáveis para um sistema de gestão de qualquer tipo de ativo. No entanto, vale destacar que a série não cobre todos os aspectos da gestão de ativos, apresentando apenas os elementos que devem ser feitos, mas, não abordando, intencionalmente, como fazer e nem outros elementos recomendáveis (IAM, 2015). Isso justifica a publicação das demais diretrizes identificadas que, em sua maioria, se destacam pelo caráter orientativo, informativo e de apoio à implementação da gestão de ativos.

Essa discussão e comparação das diretrizes de gestão de ativos contribuíram para embasar as considerações que foram seguidas na elaboração de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Logo, dado que os resultados das duas revisões integrativas foram apresentados, apresentam-se essas considerações para o desenvolvimento da proposta de estrutura na próxima e última seção deste capítulo.

### **4.3 CONSIDERAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS**

As duas revisões integrativas da literatura realizadas foram concebidas com o propósito de embasar o desenvolvimento de uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Deste modo, os resultados discutidos nas seções anteriores foram utilizados para apoiar as considerações que foram seguidas durante a elaboração da estrutura proposta apresentada no próximo capítulo. Nesta seção, portanto, discutem-se essas considerações suportadas pelos achados de ambas as revisões.

Inicialmente, a comparação das estruturas de gerenciamento de manutenção ao longo dos anos destacou as características intrínsecas de cada representação e as diferenças entre elas. Pôde-se observar que parte dessas estruturas (32%) não eram originais, ou seja, eram replicações idênticas ou com aprimoramentos que os próprios autores utilizaram em mais de uma publicação. Isso reduziu o já limitado número de estruturas identificadas na literatura.

Ficou evidente que essas estruturas de gerenciamento de manutenção apresentam diferenças significativas entre si quanto a suas formas de representação. Considerando as 17 estruturas originais, apenas 29% utilizaram uma linguagem gráfica padronizada para modelar a estrutura de gerenciamento de manutenção. Esse mesmo percentual (29%) também foi observado em relação às estruturas que foram representadas em mais de um nível. Ao considerar essas duas características em uma mesma estrutura, somente duas das 17 estruturas originais (11%) foram satisfeitas.

Além disso, evidenciou-se também que quase nenhuma das estruturas identificadas apresentou alinhamento com a gestão de ativos. Somente duas das 17 estruturas de gerenciamento de manutenção originais (11%) expressaram considerar

as diretrizes de gestão de ativos no seu desenvolvimento. Ainda, cabe destacar que embora cerca de 40% das estruturas originais tenham sido propostas após 2014 quando a gestão de ativos atingiu uma maturidade internacional com a publicação da série ISO 55000, por exemplo, apenas uma dessas estruturas expressou considerar a disciplina no contexto da estrutura de gerenciamento de manutenção.

Por fim, somente duas das características avaliadas destacaram-se por estarem presentes na maioria das estruturas de gerenciamento de manutenção identificadas. A abordagem cíclica foi observada em 13 das 17 estruturas originais (76%), estando aplicadas em todas as estruturas propostas a partir de 2008. Enquanto que a abordagem genérica, ou seja, não limitada ou direcionada a um setor ou indústria específica foi observada em 11 das 17 estruturas originais (64%).

A partir dessas análises, as primeiras considerações foram definidas para a elaboração de uma nova proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos:

- I. A proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção deve ser original;
- II. A modelagem da proposta de estrutura deve utilizar uma linguagem gráfica padronizada;
- III. A modelagem da proposta de estrutura deve representar o gerenciamento de manutenção em mais de um nível hierárquico;
- IV. A proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção deve estar alinhada com a disciplina de gestão de ativos;
- V. A modelagem da proposta de estrutura deve ter abordagem cíclica;
- VI. A proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção deve ter uma abordagem genérica.

Essas primeiras considerações a serem seguidas na elaboração de uma estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos visam garantir que a proposta de estrutura atenda todas as características avaliadas na Tabela 4.3. Essas considerações asseguram que a modelagem da proposta considere as boas práticas através das características comuns à maioria das estruturas identificadas e incorpore outras características negligenciadas na maioria das estruturas identificadas.

Ainda considerando os resultados da revisão integrativa acerca das estruturas de gerenciamento de manutenção, pôde-se definir outras considerações a partir da comparação do conteúdo das estruturas identificadas. Em outras palavras, além das estruturas originais de gerenciamento de manutenção identificadas apresentarem variações quanto às suas representações, também se observou diferenças em relação aos elementos que integram essas estruturas, conforme apresentado anteriormente na Tabela 4.4.

Quatro elementos destacaram-se por estarem contemplados em mais da metade das estruturas originais identificadas. São eles o 'Planejamento de manutenção', 'Execução de manutenção', 'Avaliação da manutenção' e 'Melhoria da manutenção'. Esses elementos podem ser abordados como quatro processos principais do gerenciamento de manutenção em uma estrutura cíclica análoga ao ciclo PDCA. No entanto, cabe destacar que embora esses elementos individualmente estivessem na maioria das estruturas, apenas cinco das 17 estruturas (29%) continham esses quatro elementos simultaneamente.

Além disso, evidenciou-se que 14 dos 23 elementos identificados nas estruturas de gerenciamento de manutenção (61%) foram considerados somente em até três das 17 estruturas originais identificadas na revisão integrativa. Em outras palavras, com exceção dos quatro elementos anteriores, a grande maioria dos elementos identificados não se repete em mais de três estruturas diferentes. Isso corrobora as diferenças também em termos de conteúdo entre as estruturas identificadas para o gerenciamento de manutenção.

A partir da análise de conteúdo, outras considerações a serem seguidas na elaboração de uma nova proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos foram definidas:

- VII. A proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção deve contemplar os principais elementos identificados nas estruturas de gerenciamento de manutenção originais;
- VIII. Os elementos associados com ferramentas, abordagens e outros conceitos não devem ser considerados na modelagem da proposta de estrutura.



- IX. A modelagem da proposta de estrutura deve considerar os elementos como processos ou atividades do gerenciamento de manutenção;

De modo geral, essas três considerações norteiam a aplicabilidade dos elementos da Tabela 4.4. na modelagem da proposta de estrutura. A incorporação dos principais elementos, aqueles que foram identificados na maioria das estruturas de gerenciamento de manutenção originais, garante que tópicos essenciais do gerenciamento de manutenção sejam contemplados na proposta de estrutura. Já os elementos associados com ferramentas, abordagens e outros papéis dentro da organização não serão incorporados visto que uma das considerações anteriores (VI) destaca o caráter genérico exigido na modelagem da proposta de estrutura. Conforme a pertinência, elementos específicos poderão ser considerados, posteriormente, como alternativas para a implementação dos processos e atividades genéricos da proposta de estrutura.

Além disso, a consideração dos elementos como processos ou atividades do gerenciamento de manutenção reforça o caráter prático desejado na proposta de estrutura em detrimento do conceitual. Essa abordagem contribui para o entendimento amplo da estrutura uma vez que possibilita relacionar entradas e saídas entre seus elementos, inclusive, em diferentes níveis. Dado que o uso de uma linguagem gráfica padronizada é uma das considerações anteriores (II) para a modelagem da proposta de estrutura, a compreensão dos seus processos e atividades assim como as relações entre eles tornam-se ainda mais facilitadas.

Ressalta-se que outros processos e atividades podem ser incorporados durante a elaboração da proposta de estrutura, não se limitando aos elementos identificados na revisão integrativa. Isso pode ser necessário, por exemplo, para atender às diretrizes de gestão de ativos visto que não foram consideradas na maioria das estruturas de gerenciamento de manutenção originais avaliadas ou, ainda, para detalhar a proposta estrutura em mais de um nível hierárquico. Além disso, nove considerações contribuem para o caráter inovador da proposta visto que nenhuma das estruturas de gerenciamento de manutenção identificadas na revisão integrativa atende todas as essas características simultaneamente.

Na sequência, a segunda revisão integrativa identificou as diretrizes de gestão de ativos que têm suportado a literatura que aborda essa disciplina no contexto do

gerenciamento de manutenção. A comparação das diretrizes destacou as suas características intrínsecas e as diferenças entre si conforme apresentado na Tabela 4.8. Esses resultados contribuíram para demonstrar a atual relevância da série internacional de normas ISO 55000 para a disciplina de gestão de ativos em relação às demais diretrizes.

A partir das discussões da seção anterior, as últimas considerações foram definidas para a elaboração de uma nova proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos:

- X. A modelagem dos processos e atividades do gerenciamento de manutenção deve considerar os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 associados com eles na proposta de estrutura;
- XI. A estrutura proposta não pretende atender a todos os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para um sistema de gestão de ativos;
- XII. As demais diretrizes que estão vigentes e possuam abordagem genérica podem ser consultadas a fim de fornecer orientação e informação complementares aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014.

Essas considerações a serem seguidas na elaboração de uma estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos visam detalhar o alinhamento da proposta de estrutura com a disciplina de gestão de ativos. A consideração de requisitos da série ISO 55000 por meio da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 na elaboração da proposta de estrutura garante que as boas práticas de gestão de ativos consensualizadas internacionalmente sejam incorporadas nos processos e atividades do gerenciamento de manutenção. Ademais, isso também contribui para o caráter inovador da proposta visto que nenhuma outra estrutura de gerenciamento de manutenção original identificada na revisão integrativa traduziu os requisitos aplicáveis da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para o gerenciamento de manutenção.

Dado que essa norma tem por escopo especificar requisitos para um sistema de gestão de ativos dentro do contexto da organização (ABNT, 2014b), nem todos os elementos abordados nela são pertinentes para a elaboração da proposta de

estrutura. Por exemplo, os requisitos relacionados aos elementos ‘Liderança’ e ‘Apoio’ não serão diretamente abordados na proposta de estrutura. Por último, cabe ressaltar que as demais diretrizes de gestão de ativos vigentes e identificadas na revisão integrativa podem ser consultadas para complementar o entendimento dos requisitos da série ISO 55000 mesmo que não estejam disponíveis traduzidas no Brasil.

Dado que todas as considerações a serem seguidas foram embasadas pelos achados das revisões integrativas, a nova proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos considera, simultaneamente, um conjunto único de características e que contribui não só para o avanço da literatura da área, mas também para apoiar os profissionais de manutenção.

## **5 PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS**













Apresenta-se, neste capítulo, a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos que foi elaborada em acordo com as considerações apresentadas no capítulo anterior. Na primeira seção, descrevem-se os processos e as atividades que compõem a estrutura por meio da modelagem de processos com BPMN (*Business Process Model and Notation*) (OMG, 2011). Na sequência, apresenta-se um levantamento de ferramentas aplicáveis para apoiar a implementação da estrutura, seguido das considerações sobre a elaboração da estrutura, constantes na última seção.

### **5.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS E ATIVIDADES DA ESTRUTURA**

Em uma estrutura de gerenciamento (*management framework*), integram-se diversos processos e atividades para o alcance dos seus objetivos. Segundo Campos (2014), uma definição conceitual para processo é uma sequência de atividades que existe para tratar entradas e produzir saídas. Em outras palavras, ao realizar toda a sequência de atividades de um determinado processo, obtém-se resultados específicos. Cada atividade, no entanto, pode ser decomposta e detalhada em mais atividades, o que também a classificaria como um processo. Desta forma, um processo pode conter uma coleção de atividades, de subprocessos, ou de atividades e subprocessos (CAMPOS, 2014).

Neste trabalho, a estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos foi elaborada por meio da modelagem de processos com BPMN. A especificação BPMN fornece uma notação gráfica padronizada para representar processos de negócios e facilitar a compreensão. Ademais, é a notação recomendada oficialmente pelo governo brasileiro para a modelagem de processos do governo após a realização de uma pesquisa comparativa entre diferentes notações para modelagem de processos (CAMPOS, 2014). Na Tabela 5.1, apresentam-se os principais elementos dessa notação para melhor entendimento dos processos da estrutura proposta.

Tabela 5.1 – Principais elementos para modelagem de processos com BPMN

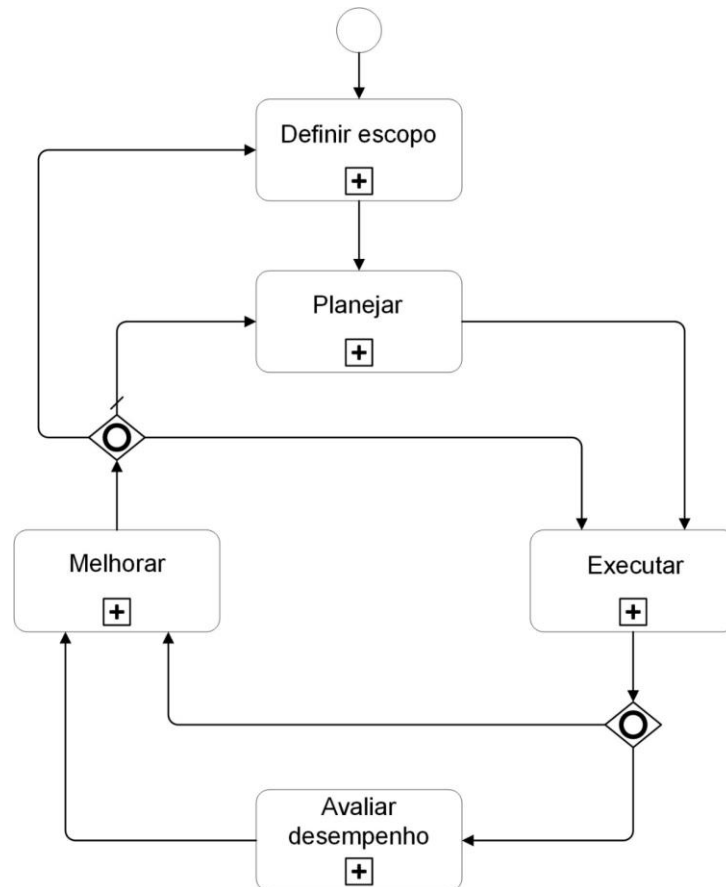
Símbolo	Nome	Descrição
	Atividade	Representa a tarefa que a organização realiza em um processo ou subprocesso.
	Processo ou subprocesso	Representa um processo ou subprocesso de forma recolhida, ou seja, sem detalhar suas atividades e subprocessos internos. O sinal de “+” contribui para a distinção com as atividades.
	Evento de início padrão	Representa o onde se inicia o fluxo de sequência de um processo.
	Evento de início do tipo mensagem	Representa um tipo específico de evento de início que só é acionado com o recebimento de uma mensagem como gatilho.
	Evento de início do tipo temporal	Representa um tipo específico de evento de início que só é acionado somente após satisfazer uma condição temporal.
	Fluxo sequencial	Representa um conector direcional entre os elementos em um processo ou subprocesso.
	Fluxo condicional	Representa um conector direcional que só é acionado quando satisfaz determinada condição
	Evento final padrão	Representa onde um caminho no processo se encerra.
	Evento final do tipo mensagem	Representa um tipo específico de evento final que envia uma mensagem ao responsável pelo processo na conclusão do fluxo de sequência.
	Portão ( <i>gateway</i> ) exclusivo	Representa um controle no fluxo de sequência que cria caminhos alternativos dentro de um fluxo de processo.
	Portão ( <i>gateway</i> ) inclusivo	Representa um controle no fluxo de sequência que cria caminhos alternativos, mas também paralelos dentro de um fluxo de processo. Todos os caminhos aplicáveis podem ser percorridos.
	Portão ( <i>gateway</i> ) paralelo	Representa um controle no fluxo de sequência que cria caminhos paralelos dentro de um fluxo de processo. Todos os caminhos devem ser percorridos necessariamente.

Fonte: Autoria própria

Para a modelagem da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos com BPMN, utilizou-se diferentes níveis de detalhamento, ou seja, níveis de abstração. Em seu nível mais elevado (nível 0), e

consequentemente, mais genérico e abstrato, a estrutura contempla cinco processos principais, conforme exposta na Figura 5.1. Esses processos são decompostos e detalhados em outras atividades em níveis hierárquicos inferiores, mais específicos e menos abstratos, da modelagem da estrutura (ex. níveis 1.1, 1.2, 1.3, etc.).

Figura 5.1 – Proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 0)



Fonte: Autoria própria

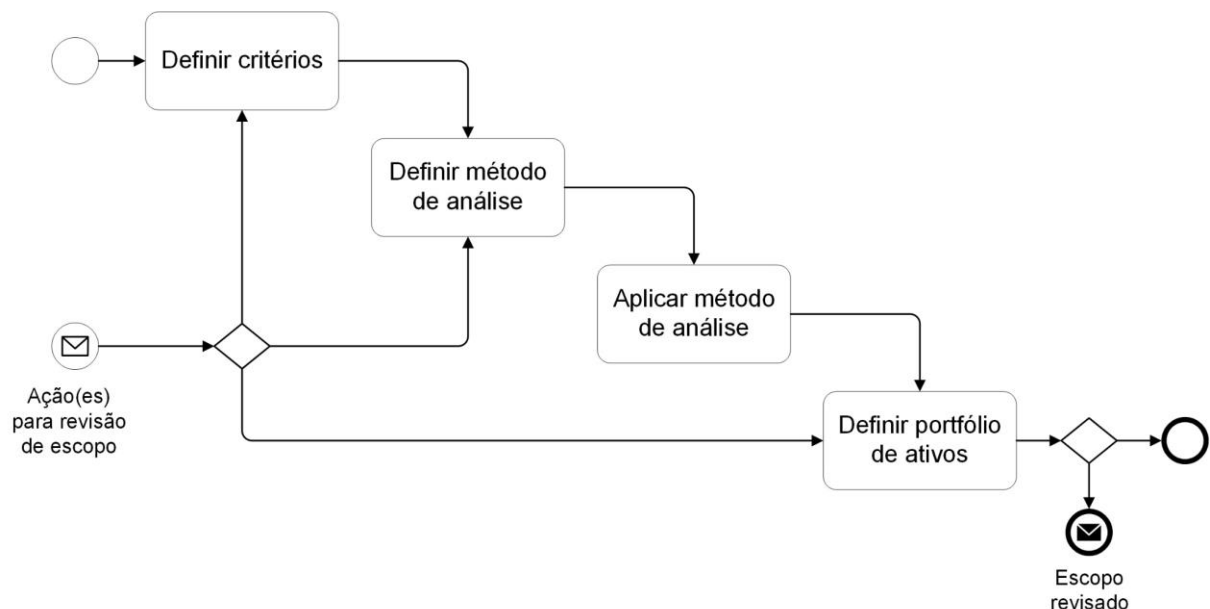
Cabe reiterar que a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos considerou os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para sua elaboração. Dado que a série ISO 55000 se sustenta no ciclo PDCA como a base para a melhoria continuada de um sistema de gestão de ativos (IHEMEGBULEM; BAGLEE, 2016), observa-se que isso se refletiu na modelagem da estrutura proposta em seu nível 0. Após o processo de definição do escopo do gerenciamento de manutenção, a estrutura concentra-se em um ciclo composto por processos análogos ao do PDCA.

Nas próximas subseções, aborda-se cada um dos cinco processos principais da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos por meio da modelagem de processos com BPMN e da descrição das atividades englobadas.

### 5.1.1 Definir escopo

Inicia-se o gerenciamento de manutenção pelo processo de definição do escopo aplicável à estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (Figura 5.1). Cabe ressaltar que não se detalhou quais atividades incorporam esse processo na modelagem da estrutura em seu nível 0, visto que representa a estrutura em seu nível de maior abstração. Portanto, apresentam-se a decomposição e o detalhamento do processo “Definir escopo” em um nível hierárquico inferior da estrutura para a sua compreensão na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Processo “Definir escopo” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.1)



Fonte: Autoria própria

O processo “Definir escopo” contempla dois possíveis eventos de início que são representados pelos dois círculos dispostos na lateral esquerda da Figura 5.2. O caminho do evento de início padrão, representado pelo círculo vazio, conduz a uma sequência de quatro atividades: Definir critérios, Definir método de análise, Aplicar

método de análise e Definir portfólio de ativos. Essas atividades possibilitam que os responsáveis pelo gerenciamento da manutenção selecionem quais ativos físicos da organização integrarão o portfólio de ativos físicos para o escopo da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

O segundo evento de início para esse processo consiste em um evento de início do tipo mensagem, ou seja, é necessário o recebimento de uma comunicação de qualquer tipo (ex. documento, *e-mail*, telefonema, etc.) para que seja acionado o início do processo por essa via (CAMPOS, 2014). Nesse processo, portanto, esse segundo início está condicionado à comunicação da demanda de ação(es) para revisão do escopo proveniente da saída do processo “Melhorar”. Isso pode ser evidenciado na representação de nível 0 (Figura 5.1) da estrutura proposta visto que uma das saídas do processo “Melhorar” é entrada do processo “Definir escopo”. Logo, o segundo evento de início pode implicar em diferentes sequências de atividades dado que a ação pode variar entre revisar os critérios de seleção, o método da aplicação ou a tomada de decisão em relação ao escopo.

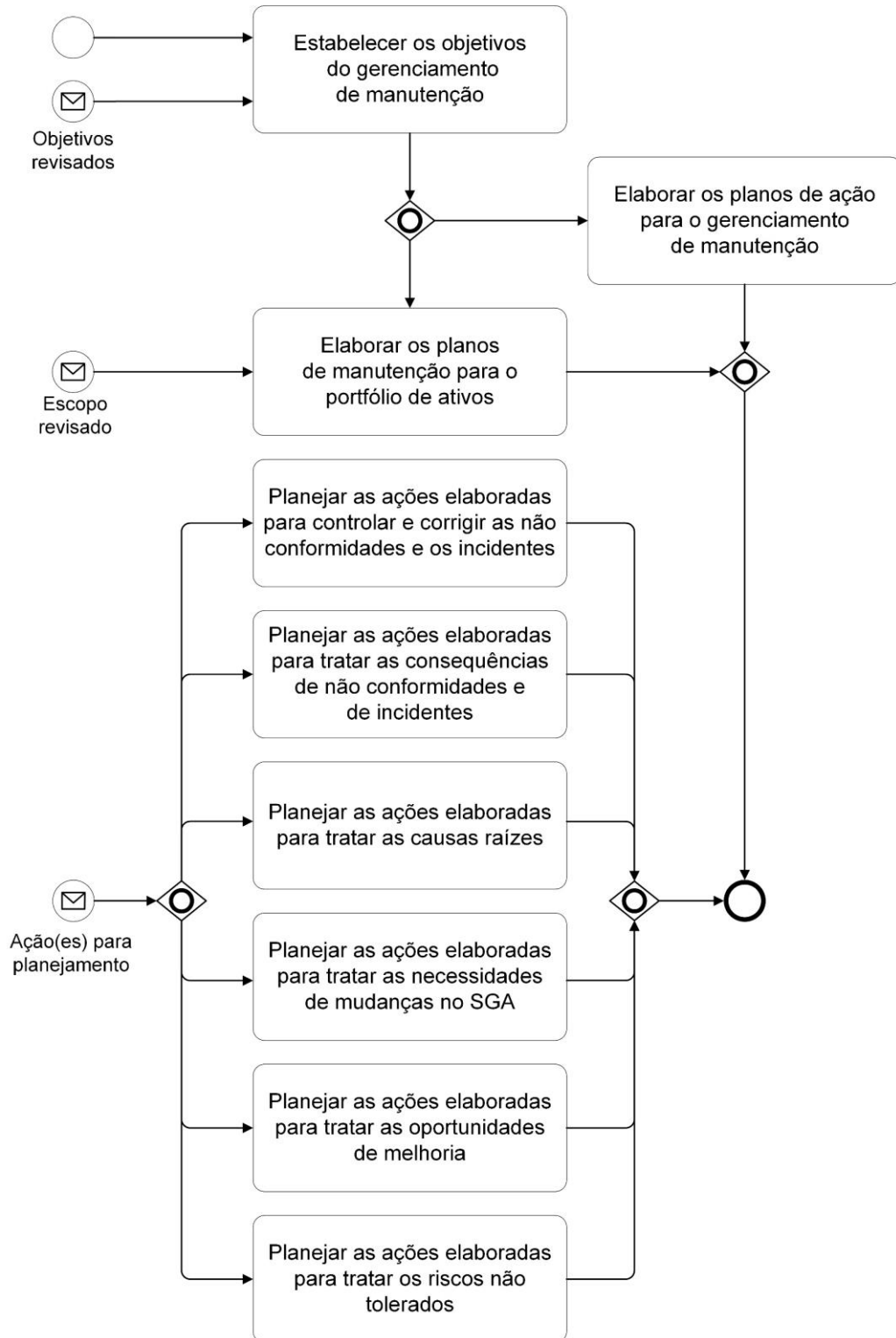
Na implementação da proposta de estrutura de gerenciamento da manutenção para a gestão de ativos físicos, ou seja, durante a realização do primeiro ciclo da estrutura, o único possível evento de início do processo é o padrão. Dessa forma, encerra-se o processo de “Definir escopo” com o portfólio de ativos físicos como resultado da última atividade desse processo. Por sua vez, com a estrutura implementada, o processo “Definir escopo” pode ser requisitado a reiniciar pelas ações de revisão provenientes de saídas do processo “Melhorar”. Ao executar tais ações, é provável que haja alterações no portfólio de ativos físicos sob escopo da estrutura proposta que acarretará em impactos nos processos subsequentes.

### **5.1.2 Planejar**

Uma vez que o processo de “Definir escopo” tenha sido concluído, o gerenciamento de manutenção avança para o processo “Planejar”, conforme exposto na modelagem da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos em seu nível 0 (Figura 5.1). As atividades que incorporam o processo “Planejar” não foram delineadas na modelagem da estrutura proposta em seu nível 0. Dessa forma, apresentam-se a decomposição e detalhamento desse processo em um nível inferior da estrutura para a sua compreensão na Figura 5.3.



Figura 5.3 – Processo “Planejar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.2)



Fonte: Autoria própria

O processo “Planejar” contempla quatro possíveis eventos de início que são representados pelos círculos dispostos na lateral esquerda da Figura 5.3. O fluxo do evento de início padrão, representado pelo círculo vazio, conduz à atividade definição dos objetivos do gerenciamento de manutenção. A partir da definição desses objetivos, a organização estabelece planos para o alcance desses objetivos nas duas próximas atividades do processo.

A atividade “Elaborar os planos de manutenção para o portfólio de ativos” estabelece as atividades para os ativos físicos enquanto que a atividade “Elaborar os planos de ação para o gerenciamento de manutenção” estabelece as ações para a condução dos processos e outros aspectos do gerenciamento de manutenção. Em outras palavras, a primeira atividade elabora o que precisa ser feito no portfólio de ativos para o alcance dos objetivos do gerenciamento de manutenção associados ao domínio dos ativos físicos. Por sua vez, a segunda atividade elabora as ações que são necessárias para alcançar outros objetivos de gerenciamento de manutenção.

Após estabelecer os planos necessários para o alcance dos objetivos do gerenciamento de manutenção, o fluxo do evento de início padrão conduz ao evento final do processo “Planejar”. As atividades incluídas nessa sequência podem ser solicitadas a reiniciar por meio do segundo e terceiro eventos de início, ambos do tipo mensagem. Dessa forma, quando o planejamento for comunicado de uma revisão dos objetivos da organização ou da gestão de ativos, aciona-se novamente o fluxo a partir da atividade de definição dos objetivos do gerenciamento de manutenção. Caso a mensagem recebida seja referente uma revisão do escopo da estrutura proposta, inicia-se o fluxo na atividade de elaboração dos planos de manutenção para o portfólio de ativos físicos. Isso visa garantir um adequado planejamento visto que essas revisões podem implicar na necessidade de adequação, criação ou eliminação de planos estabelecidos.

Por fim, o quarto evento de início do processo “Planejar” também consiste em um evento de início do tipo mensagem. Esse último evento de início está condicionado à comunicação de demanda(s) proveniente(s) da saída do processo “Melhorar” que, neste caso, são de ação(es) para planejamento. Isso pode ser evidenciado, mais uma vez, na representação de nível 0 (Figura 5.1) da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos, visto que o fluxo padrão de saída do processo “Melhorar” é entrada do processo “Planejar”. Posto que essa(s) demanda(s) existe(m), o processo é acionado, por meio do recebimento da

comunicação, para iniciar a(s) atividade(s) de planejamento conforme as diferentes categorias expostas para o processo.

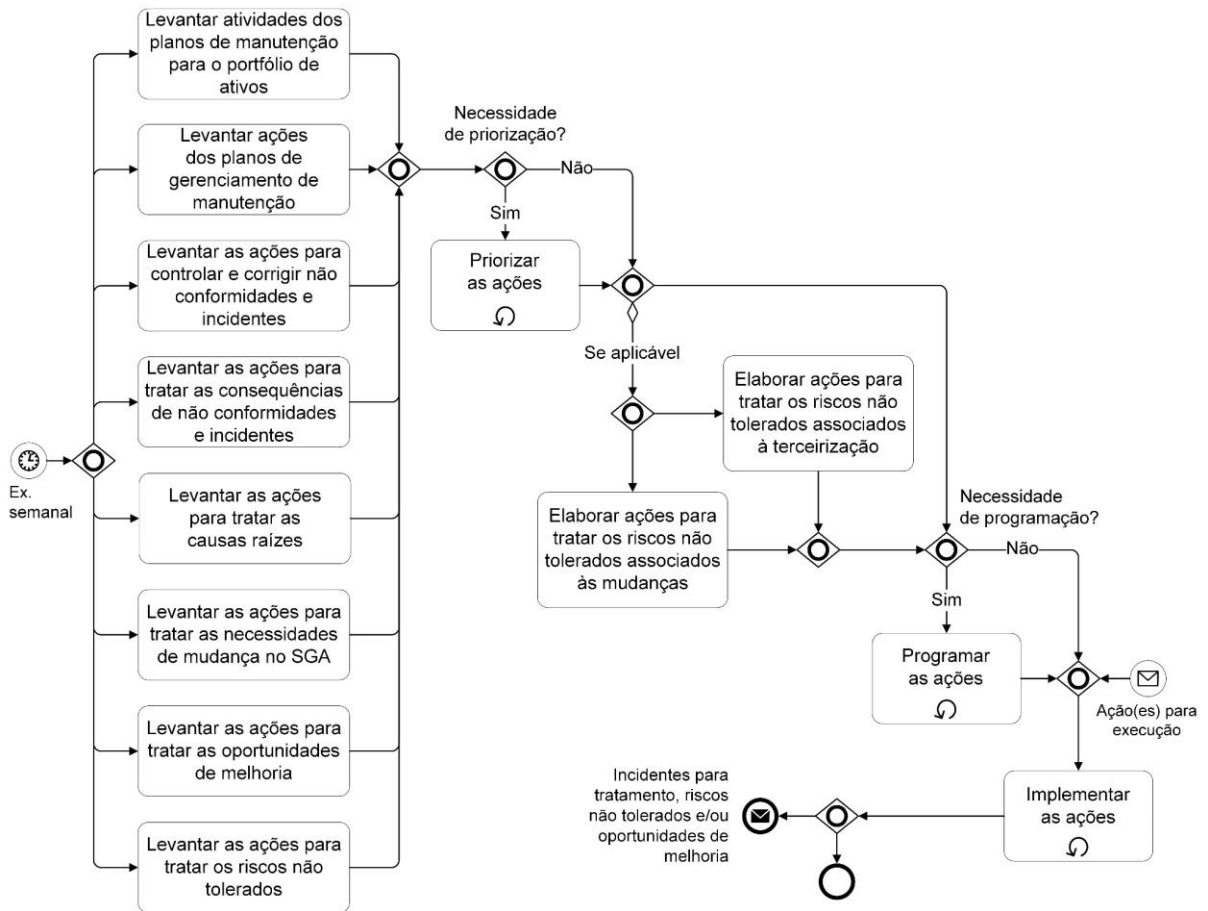
Cabe reiterar que durante a implementação da proposta de estrutura de gerenciamento da manutenção para gestão de ativos, ou seja, durante a realização do primeiro ciclo da estrutura, o processo inicia-se pelo evento de início padrão. Dessa forma, encerra-se o processo “Planejar” com os planos de manutenção para o portfólio de ativos físicos e com os planos de ação para o gerenciamento de manutenção. No entanto, uma vez que a estrutura esteja implementada, o processo “Planejar” pode ser iniciado pelos outros três eventos de início. Independente do evento de início, todas as ações planejadas nesse processo são acessadas pelo processo seguinte.

### **5.1.3 Executar**

Com a conclusão do processo “Planejar”, o fluxo de sequência da estrutura proposta avança para o processo “Executar”. Embora não seja padrão, cabe destacar que esse processo também pode ter como fluxo de entrada alguma(s) saída(s) do processo “Melhorar”, conforme exposto na proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos na Figura 5.1. As atividades que incorporam o processo “Executar” não foram apresentadas na modelagem da estrutura em seu nível 0. Portanto, para melhor compressão, o processo “Executar” foi decomposto e detalhado em um nível de menor abstração de forma análoga aos processos anteriores na Figura 5.4.

O processo “Executar” apresenta dois eventos de início para conduzir as atividades desse processo. Dado que o evento de início principal é do tipo temporal, a sua iniciação está condicionada a um determinado tempo de espera no fluxo temporal do processo (Campos, 2014). Neste caso, o processo é acionado conforme a periodicidade da rotina de programação de manutenção, exemplificado na estrutura como semanal, independente da conclusão de outros processos. Logo, o evento de início principal é periodicamente reiniciado seguindo uma frequência determinada e conduz ao fluxo completo de atividades. Já o evento de início secundário é do tipo mensagem, ou seja, possui o fluxo acionado conforme necessidade comunicada ao processo. Esse acionamento conduz apenas à atividade final do processo “Executar”, encaminhando a ação para execução imediata.

Figura 5.4 – Processo “Executar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.3)



Fonte: Autoria própria

De modo geral, o fluxo do evento de início principal inicia o processo “Executar” com um levantamento das ações para implementação conforme as oito categorias dispostas na Figura 5.4. Ressalta-se que esse levantamento considera as demandas planejadas no processo anterior. Uma vez que as atividades e ações a serem implementadas foram identificadas, os responsáveis pelo processo avaliam se é necessário realizar alguma priorização em relação a essas demandas visto que os recursos disponíveis (ex. materiais, funcionários, tempo, etc.), assim como as condições operacionais e de restrições, podem impactar na execução. Recomenda-se que sejam considerados fatores tais como o tipo da ação, a quantidade de ações pendentes e tipo de mão-de-obra necessária para a decidir a aplicabilidade de uma análise de priorização e os limites de sua abrangência.

Na sequência, caso seja aplicável, pode ser necessário que a organização elabore ações para tratar os riscos não tolerados associados à terceirização de

atividades de manutenção e/ou às mudanças a serem implementadas. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55001:2014, quando a organização terceirizar quaisquer atividades que possam ter impacto no alcance dos objetivos da gestão de ativos, deve-se avaliar os riscos associados. Ademais, isso também se aplica às mudanças planejadas, permanentes ou temporária a serem implementadas (ABNT, 2014b). Logo, se aplicável, as atividades “Elaborar ações para tratar os riscos não tolerados associados à terceirização” e/ou “Elaborar ações para tratar os riscos não tolerados associados às mudanças” são conduzidas.

Por fim, o fluxo de sequência avança para avaliação da necessidade de programação dessas atividades e ações de manutenção e, conseqüentemente, da criação de um plano de execução. Após terem sido designadas, os responsáveis executam as atividades e ações de manutenção e registram as informações referentes à conclusão. Cabe destacar que as ações para execução resultantes do processo “Melhorar” acionam o evento de início secundário do processo “Executar” direto para a atividade “Implementar as ações”. Em outras palavras, quando houver necessidades de ações imediatas, não se percorre o fluxo completo do processo “Executar”.

Essas informações documentadas são de importância para as atividades dispostas no processo “Avaliar desempenho”. Ademais, registros de incidentes indesejados que tenham ocorrido, riscos não tolerados e/ou oportunidades de melhoria que tenham sido identificadas durante a execução dessas ações, podem ser encaminhadas para tratamento no processo “Melhorar” conforme a pertinência a este processo e ao gerenciamento de manutenção.

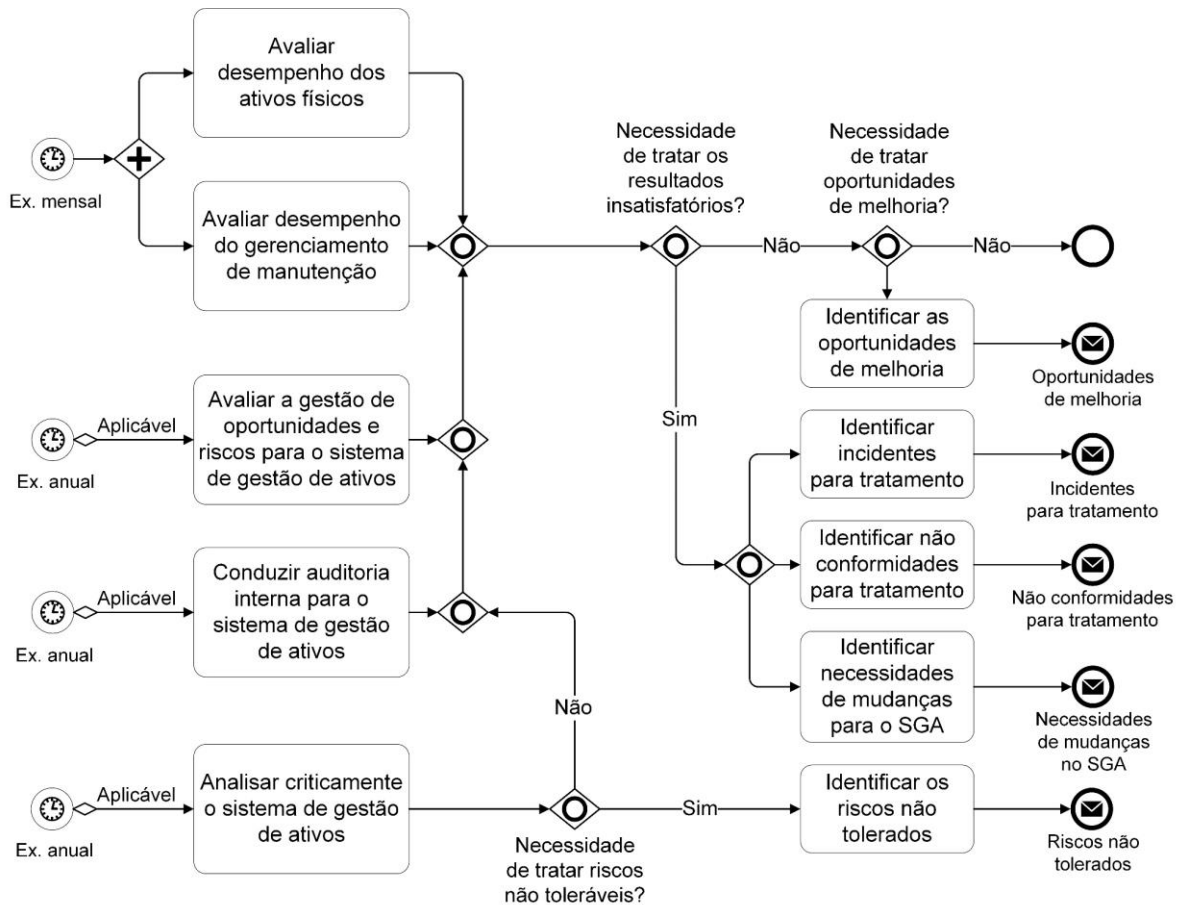
#### **5.1.4 Avaliar desempenho**

Consequente ao processo “Executar”, a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos avança para o processo “Avaliar desempenho” em um dos seus fluxos de sequência, conforme exposto na Figura 5.1. As atividades que incorporam o processo “Avaliar desempenho” não foram apresentadas na modelagem da estrutura em seu nível 0. Dessa forma, apresentam-se a decomposição e detalhamento desse processo em um nível inferior da estrutura para a sua compreensão na Figura 5.5.

O processo “Avaliar desempenho” contempla quatro possíveis eventos de início, todos do tipo temporal, representados pelos círculos com um relógio dentro e

estão dispostos na lateral esquerda da Figura 5.5. O uso desse tipo de evento de início, teve por finalidade modelar outro processo não corriqueiro na estrutura proposta. Em outras palavras, as periodicidades determinadas pelas lideranças envolvidas no gerenciamento de manutenção e na gestão de ativos controlam o início das atividades do processo.

Figura 5.5 – Processo “Avaliar desempenho” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.4)



Fonte: Autoria própria

O evento de início temporal superior, exemplificado como mensal na Figura 5.5, tem um fluxo de sequência que difere dos outros três, pois esses são fluxos de sequências condicionais. Além da restrição temporal que é comum a todos os eventos de início deste processo, esses três eventos de início, exemplificados como anuais, possuem fluxos que só são ativados caso satisfaçam uma condição. Dado que esses três fluxos condicionais conduzem às atividades de avaliação pertinentes a um sistema de gestão de ativos (SGA), esses fluxos só são aplicáveis caso exista esse

sistema já implantado. Deste modo, pode-se observar que parte do processo “Avaliar desempenho” só é ativado caso seja aplicável ao contexto da organização.

No entanto, o evento de início temporal superior possui um fluxo de sequência que é independente de condições, ou seja, basta que seja satisfeita a periodicidade de seu evento de início para que seja ativado. Esse fluxo conduz às atividades de avaliação de desempenho para os domínios do portfólio de ativos físicos e do gerenciamento de manutenção. Os resultados dessas avaliações, assim como aqueles dos fluxos condicionais, são analisados e encaminhados conforme os portais de divisão de fluxo a fim de identificar os fluxos de sequência pertinentes para as saídas do processo.

Observa-se que o processo “Avaliar desempenho” pode ser encerrado por seis eventos de fim. Caso os resultados das diversas avaliações sejam satisfatórios e não haja necessidade de tratar oportunidades de melhoria, esse processo não encaminha nenhuma comunicação que ative o processo seguinte, encerrando-se no evento de fim superior. Por outro lado, ao encerrar o processo em um dos demais eventos de fim, comunica-se os responsáveis pelo processo “Melhorar”, ativando os respectivos eventos de início que tratam oportunidades de melhorias, incidentes indesejados, não conformidades, necessidades de mudanças no SGA e/ou riscos não tolerados.

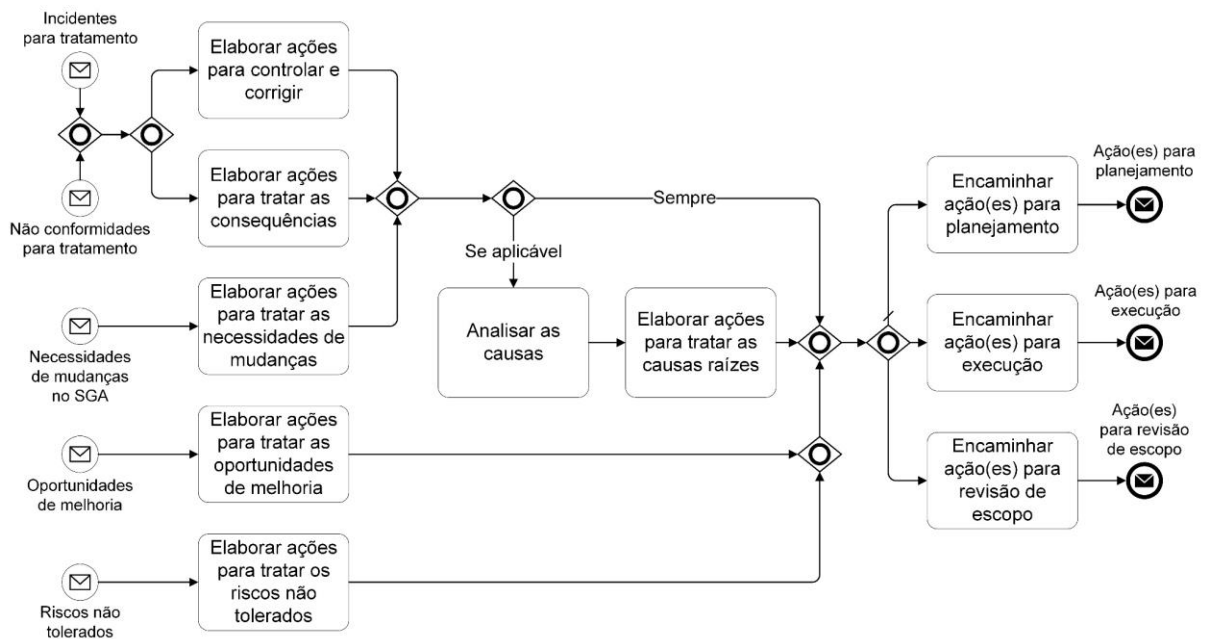
### **5.1.5 Melhorar**

O último processo principal da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos é o processo “Melhorar”. Do mesmo modo que nos processos anteriores, as atividades que incorporam o processo “Melhorar” não foram apresentadas na modelagem da estrutura em seu nível 0. Portanto, para sua melhor compreensão, esse processo foi decomposto e detalhado em um nível de menor abstração na Figura 5.6.

Este processo pode ter como fluxo de entrada a(s) saída(s) dos processos “Executar” e “Avaliar desempenho”, conforme explicitado na Figura 5.1. No primeiro caso, os responsáveis pelo processo “Melhorar” são comunicados de incidentes para tratamento, riscos não tolerados e oportunidades de melhoria identificados durante as execuções de ações do processo “Executar” (Figura 5.4). Isso permite ativar três dos cinco possíveis eventos de início do tipo mensagem do processo “Melhorar”. O processo “Avaliar desempenho”, por sua vez, possibilita aos responsáveis ativar

qualquer um dos eventos de início do processo “Melhorar”, pois contempla todas as comunicações possíveis para ativar tais eventos em seus diferentes eventos de fim.

Figura 5.6 – Processo “Melhorar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos (nível 1.5)



Fonte: Autoria própria

Os eventos de início referentes aos incidentes e às não conformidades para tratamento, independente do processo de origem, seguem o mesmo fluxo de sequência. Elaboram-se ações para controlar e corrigir essas demandas e/ou elaboram-se ações para tratar as consequências dessas ocorrências conforme pertinência à gestão de ativos. Já as necessidades de mudanças no SGA, as oportunidades de melhorias e os riscos não tolerados ativam as elaborações de ações para tratar cada uma dessas demandas.

Antes do encaminhamento e comunicação das ações elaboradas para outros processos, conforme os três diferentes eventos de fim (Figura 5.6), três dos cinco fluxos de sequência podem passar por atividades intermediárias. O processo “Melhorar” solicita que os responsáveis avaliem a necessidade de investigar as causas dos incidentes e das não conformidades para tratamento e das necessidades de mudanças identificadas. Caso seja pertinente, analisam-se as causas e elaboram-se ações para tratar as causas raízes dessas demandas.



Uma vez que as ações são elaboradas, cabe aos responsáveis do processo avaliar qual o mais adequado fluxo de sequência para os possíveis eventos de fim. O processo “Melhorar” permite que essas ações sejam encaminhadas e comunicadas aos processos “Definir escopo”, “Planejar” e “Executar”. Embora destaque-se que o fluxo padrão de fim seja para o processo de planejamento das ações, o processo possibilita que as ações sigam diretamente para os processos “Definir escopo” e “Executar” conforme a demanda e aplicabilidade. Por fim, esses fluxos de sequência do processo “Melhorar” estão destacados na Figura 5.1 e já foram discutidos como entradas desses três processos em subseções anteriores.

## **5.2 FERRAMENTAS APLICÁVEIS À IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA**

Os diferentes níveis da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos foram compostos por processos e atividades que consideraram os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014. No entanto, uma vez que essa diretriz não é específica a ponto de definir como fazer o que solicita que deve ser feito, isso se reflete, de forma análoga, na modelagem da estrutura proposta.

A descrição dos processos e atividades da estrutura proposta na seção anterior expõe e discute o detalhamento e a decomposição da estrutura de modo que essa e toda sua sequência de atividades se tornem compreensíveis. Contudo, não se aborda como implementar cada um desses processos e atividades. Em outras palavras, toda a estrutura, em seus diferentes níveis da modelagem, está descrita de forma genérica. Os processos e as atividades apenas caracterizam o que precisa ser feito, mas sem detalhar como. Portanto, nesta seção, apresentam-se meios que colaborem para a implementação desses processos e atividades.

Mediante uma revisão da literatura, buscou-se identificar ferramentas que fossem aplicáveis ao contexto da gestão de ativos, da manutenção e/ou dos processos e atividades que integram a estrutura proposta, conforme exposto na Tabela 5.2. Para tal, identificaram-se ferramentas de diferentes assuntos relacionados com a série de normas ISO 55000 tais como gestão de ativos, gerenciamento de manutenção, gestão da qualidade, gestão de risco, gestão estratégica e tomada de decisão (IAM, 2008a; KARDEC; NASCIF, 2009; WERKEMA, 2013; MINNAAR; BASSON; VLOK, 2013b; SIQUEIRA, 2014; GOODWIN; WRIGHT, 2014; BO, 2015;

GALANTE, 2015; GULLISKEN, 2015; OKOH; SCHJØLBERG; WILSON, 2016; CALIXTO, 2016; KAPLAN; NORTON, 2018; ABNT, 2020). Cabe ressaltar que o termo ferramentas foi utilizado em seu sentido mais amplo, ou seja, podendo englobar também abordagens, técnicas, métodos e filosofias, além de ferramentas em si.

Tabela 5.2 – Ferramentas aplicáveis para a implementação da estrutura proposta

<b>Processo</b>	<b>Ferramentas de apoio</b>
Definir escopo	Discussão de ideias ( <i>Brainstorming</i> ), Avaliação comparativa ( <i>Benchmarking</i> ), Heurísticas de decisão, Diagrama de relações, Alinhamento estratégico, Diagrama de árvore, Diagrama de matriz, Diagrama de priorização, Matriz de priorização, Estratificação, Métodos de tomada de decisão multicritério (ex. WASPAS, AHP, TOPSIS, etc.), Ranqueamento, Curva ABC e Diagrama de Pareto
Planejar	Alinhamento estratégico, Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), Manutenção Produtiva Total (MPT), Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção ( <i>Computerized Maintenance Management System</i> , CMMS), Sistema de Gerenciamento de Materiais de Manutenção, Reparo e Operações ( <i>Maintenance, Repair and Operations Management System</i> , MROMS), Diagrama de afinidades, Diagrama de Gantt, <i>Software</i> de gestão de projetos, Folhas de verificação ( <i>checklists</i> ), Planilhas eletrônicas
Executar	CMMS, MROMS, Diagrama de Gantt, <i>Software</i> de gestão de projetos, planilhas eletrônicas, <i>Brainstorming</i> , Análise Preliminar de Riscos (APR), Estudo de Perigos e Operabilidade ( <i>Hazard and Operability Study</i> , HAZOP), FMEA, Manutenção Baseada na Condição (MBC), 5W2H, Análise SWOT, Estratificação, Heurísticas de decisão, Matriz de priorização, Métodos de tomada de decisão multicritério (ex. WASPAS, AHP, TOPSIS, etc.), Método do Caminho Crítico ( <i>Critical Path Method</i> , CPM), Ordens de serviço, <i>checklists</i> , Formulários de requisição de materiais, Formulário de liberação de serviço e Equipamentos, proteções e ferramentas para a execução de manutenção
Avaliar desempenho	<i>Brainstorming</i> , <i>Benchmarking</i> , Indicadores-chave de desempenho ( <i>Key performance indicator</i> , KPI), <i>Balanced Scorecard</i> (BSC), Medidas de posição e variabilidade, Gráfico sequencial, Carta de controle, Entrevistas e análise documental, Amostragem, <i>checklists</i> , Planilhas eletrônicas, Auditorias de primeira e terceira parte, Diagrama de Pareto, Análise de risco e Análise SWOT
Melhorar	<i>Brainstorming</i> , <i>Benchmarking</i> , Análise de custo e benefícios, Heurísticas de decisão, Diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa), 5 Porquês, Análise de árvore de falha ( <i>Fault Tree Analysis</i> , FTA), Árvore de causas, Sistema de Relatório de Falhas, Análise e Ações Corretivas ( <i>Failure Reporting and Corrective Action System</i> , FRACAS), Sistema de Gerenciamento de Tarefas ( <i>Task Management System</i> ) e Planilhas eletrônicas

Fonte: Autoria própria

A partir da Tabela 5.2, observa-se que as ferramentas sugeridas ao processo “Definir escopo” estão relacionadas, principalmente, com alinhamento estratégico e tomada de decisão, uma vez que este processo visa definir o portfólio de ativos físicos coberto pela estrutura proposta considerando o entendimento da organização e seu contexto das necessidades e expectativas das partes interessadas. Já as estratégias de manutenção e os sistemas técnicos (ex. *software*) são aplicáveis ao suporte do processo “Planejar” a fim de auxiliar no planejamento das atividades dos planos de manutenção do portfólio de ativos físicos e do gerenciamento de manutenção.

Para o processo “Executar”, apresenta-se uma variedade de ferramentas aplicáveis devido ao número de diferentes atividades neste processo. Durante a fase de execução da manutenção, os responsáveis pelo processo podem precisar de ferramentas de suporte para priorizar, agendar, controlar e implementar as ações, como técnicas de análise, *software*, formulários administrativos, equipamentos e ferramentais. De modo geral, sugere-se ao processo “Avaliar desempenho” ferramentas de análise aplicáveis ao monitoramento, medição e avaliação de desempenho assim como ferramentas de suporte administrativo para auditoria e análise crítica do sistema de gestão de ativos. Por fim, para o processo “Melhorar”, são destacadas ferramentas de análise de causa raiz e de suporte à geração de ideias dado que os responsáveis por esse processo precisam tratar, entre outras demandas, incidentes indesejados além de propor ações para oportunidades de melhoria.

### **5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA PROPOSTA**

As duas seções anteriores destinaram-se a descrever os processos e atividades da estrutura proposta e apresentar um levantamento de ferramentas aplicáveis ao apoio à sua implementação. Essas duas subseções se complementam e contribuem para a compreensão da estrutura proposta e de sua viabilização prática. Nesta seção, por fim, destacam-se algumas considerações acerca da elaboração da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

Embora utilize-se a série de normas ISO 55000 como referência para o alinhamento com a disciplina de gestão de ativos, a estrutura proposta não pretendeu

atender a todos os requisitos dispostos na norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para um sistema de gestão de ativos. Para melhor compreensão, a Tabela 5.2 correlaciona as seções da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 consideradas na estrutura proposta com os processos modelados.

A partir da Tabela 5.3, evidencia-se que a estrutura de gerenciamento de manutenção para gestão de ativos físicos priorizou a modelagem dos processos e atividades necessários conforme as diretrizes dessa série de normas, ou seja, uma abordagem técnica do gerenciamento de manutenção no contexto da gestão de ativos. Dessa forma, os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 associados às seções dos elementos “Liderança”, tais como comprometimento da alta direção, elaboração de política de gestão de ativos, definição de autoridades, responsabilidades e papéis organizacionais e “Apoio”, recursos, competências, conscientização, comunicação, requisitos de informação, não foram considerados diretamente na elaboração da estrutura proposta.

Embora a série ISO 55000 represente um marco para a disciplina de gestão de ativos, esse assunto é escasso nos periódicos e editoriais da literatura que abordam a gestão de ativos. O desenvolvimento de *frameworks* e ferramentas para aplicação na manutenção considerando esse contexto padronizado é uma lacuna identificada no mapeamento da literatura de gestão de ativos (DA SILVA; DE SOUZA, 2021). Em contrapartida, eventos na área de manutenção e gestão de ativos, como congressos e conferências, produzem artigos (*proceedings*) acerca do assunto com maior frequência, embora as abordagens tendam a ser superficiais.

Hussin, Al-Mehairi e Hassan (2016), por exemplo, destacam o sistema e os desafios para otimização da gestão de ativos para a distribuição de energia elétrica de responsabilidade da Autoridade de Eletricidade e Água de Dubai (DEWA) sem detalhar os processos e/ou atividades envolvidos. Já Elias e Romero (2014) apresentam vários aspectos a serem considerados quando uma empresa de eletricidade quer implementar um sistema de gestão de ativos para suas linhas de distribuição. Outros trabalhos priorizaram a abordagem da gestão de ativos no contexto da série internacional de normas ISO 55000 sob a perspectiva de modelo para monitoramento da maturidade da organização (KERSLEY; SHARP, 2014; BIGDELI, 2016).

Tabela 5.3 – Correlação entre a norma ABNT NBR ISO 55001:2014 e os processos da estrutura proposta

	Definir escopo	Planejar	Executar	Avaliar desemp.	Melhorar
4.1 Entendimento da organização e seu contexto	●	-	-	-	-
4.2 Entendimento das necessidades e das expectativas das partes interessadas	●	-	-	-	-
4.3 Determinação do escopo do sistema de gestão de ativos	●	-	-	-	-
4.4 Sistema de gestão de ativos	-	-	-	-	-
5.1 Liderança e comprometimento	-	-	-	-	-
5.2 Política	-	-	-	-	-
5.3 Autoridades, responsabilidades e papéis organizacionais	-	-	-	-	-
6.1 Ações para tratar os riscos e oportunidades para o sistema de gestão de ativos	-	-	-	●	-
6.2.1 Objetivos da gestão de ativos	●	●	-	-	-
6.2.2 Planejamento para o alcance dos objetivos da gestão de ativos	●	●	-	-	-
7.1 Recursos	-	-	●	-	-
7.2 Competências	-	-	-	-	-
7.3 Conscientização	-	-	-	-	-
7.4 Comunicação	-	-	-	-	-
7.5 Requisitos de informação	-	-	-	-	-
7.6 Informação documentada	●	●	●	●	●
8.1 Planejamento operacional e controle	-	-	●	-	-
8.2 Gestão de mudanças	-	-	●	-	-
8.3 Terceirização	-	-	●	-	-
9.1 Monitoramento, medição, análise e avaliação	-	-	-	●	-
9.2 Auditoria interna	-	-	-	●	-
9.3 Análise crítica pela direção	-	-	-	●	-
10.1 Não conformidade e ação corretiva	-	-	-	-	●
10.2 Ação preventiva	-	-	-	-	●
10.3 Melhoria contínua	-	-	-	-	●

Fonte: Autoria própria

No entanto, alguns desses trabalhos apresentam enfoques que se relacionam mais diretamente com o objetivo deste projeto de pesquisa. McQuillan, Willekens, Braud (2016), por exemplo, propuseram a estruturação da gestão de ativos na manutenção sob o método de gestão PDCA. Na sequência, discutiu-se cada uma das fases do ciclo e a importância da abordagem sistemática e cíclica para o aprimoramento da gestão de ativos. Por sua vez, Carey (2016) compartilhou a experiência na atualização da estrutura conceitual (*conceptual framework*) de gestão de ativos da *International Union of Railway* (UCI) após a publicação da série internacional ISO 55000. Na versão atualizada, a companhia apresentou uma estrutura conceitual que evidencia todas as subseções da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para sistema de gestão de ativos. Entretanto, ambos os artigos não abordam como os elementos dessas estruturas se relacionam propriamente ou detalham seus processos e atividades.

Dessa forma, ressalta-se que a elaboração da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos contribui também para o preenchimento de uma lacuna na literatura de gestão de ativos. Não foi identificada na literatura uma tendência de considerar, em profundidade, as diretrizes e os requisitos da série ISO 55000 para desenvolvimento de pesquisas. Ademais, esta pesquisa objetiva avaliar a aplicabilidade da estrutura por meio de demonstrações dos processos baseadas em um contexto operacional real, contribuindo para o seu caráter original no campo de pesquisa da gestão de ativos.

Por último, a estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para gestão de ativos físicos não aborda diretamente as relações com outros estágios do ciclo de vida dos ativos físicos. No entanto, conforme apresentado na subseção 2.1.3, o gerenciamento de manutenção tem interface muito forte com o estágio de operação dos ativos físicos. Dessa forma, cabe destacar que as comunicações para acionar os processos da estrutura proposta também podem vir do gerenciamento de operação. Além disso, os resultados dos processos “Melhorar” podem implicar em ações que precisem do suporte da equipe operacional. Dessa forma, a estrutura proposta não pode ser vista como isolada dado que, na prática, outros processos podem impactar ou serem impactados pelo gerenciamento de manutenção.

## **6 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ESTRUTURA DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA**

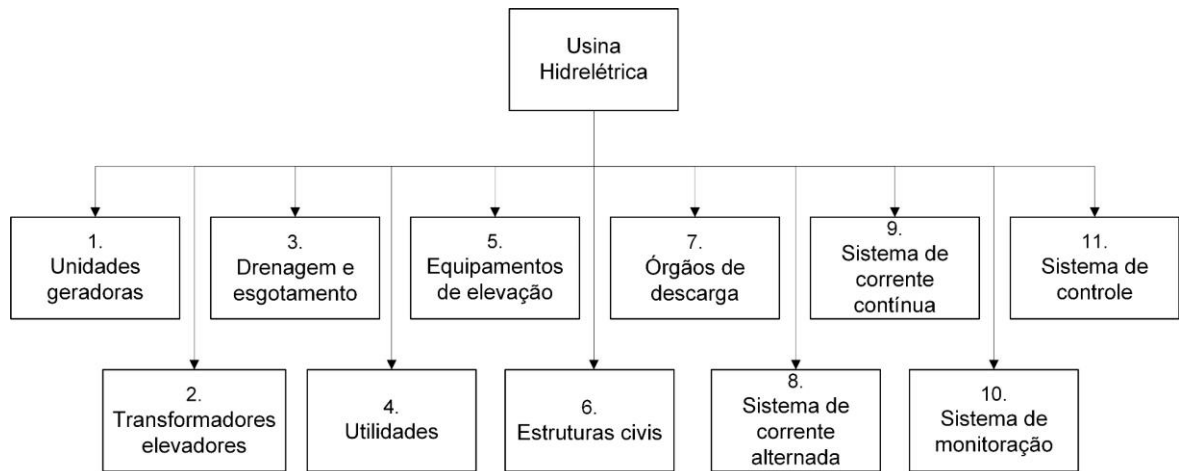
Uma vez que a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos foi elaborada e discutida, destina-se esse capítulo para a avaliação de sua aplicabilidade com base no contexto de uma usina hidrelétrica. Na primeira seção, introduz-se o estudo de caso a partir da apresentação da usina hidrelétrica e de seu gerenciamento de manutenção. Já as cinco seções seguintes discutem os processos da estrutura proposta por meio de suas demonstrações considerando o contexto e as informações do gerenciamento de manutenção da organização. Por fim, destina-se uma última seção para as considerações sobre a aplicabilidade da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

### **6.1 DESCRIÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA E DO SEU GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO**

Para a avaliação da aplicabilidade da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para gestão de ativos físicos, desenvolveu-se um estudo de caso a partir de um contexto operacional real de uma usina hidrelétrica. Usinas hidrelétricas são de grande importância no Brasil devido à predominância da geração de energia elétrica por meio delas (66%) na matriz energética nacional (EPE, 2019). Nesta pesquisa, a usina selecionada é composta por quatro unidades geradoras Kaplan e cerca de 200 MW de capacidade instalada e a sua escolha foi suportada pelo convênio de pesquisa que a organização tem junto à Universidade de São Paulo.

De modo geral, o gerenciamento de manutenção é centralizado e atende toda a planta. A equipe de manutenção interna é reduzida e a organização costuma contratar mão-de-obra especializada e terceirizada nas grandes intervenções preventivas. A unidade ainda conta com o suporte de um conhecido Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção (CMMS) que contribui para o planejamento e controle das atividades de manutenção para o portfólio de ativos físicos. A representação dos principais sistemas da estrutura hierárquica do CMMS é apresentada na Figura 6.1 para melhor compreensão do que abrange a usina.

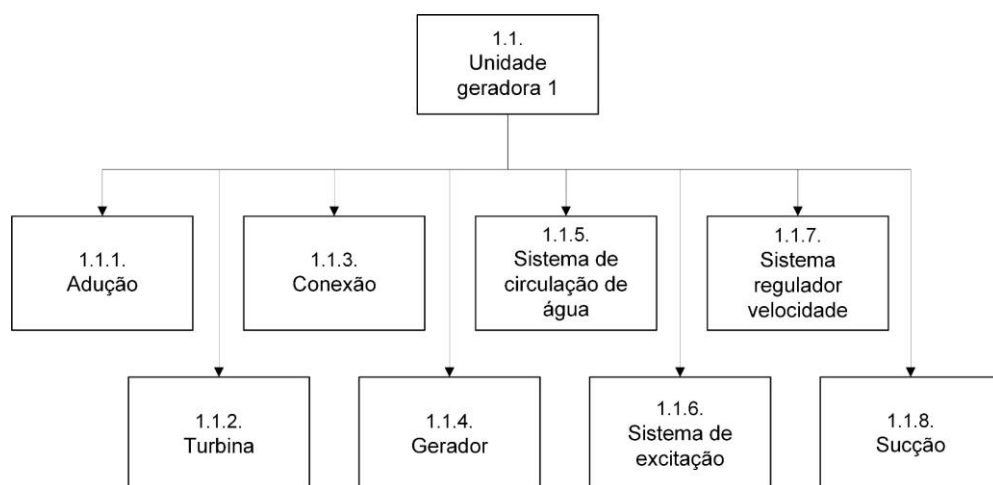
Figura 6.1 – Estrutura hierárquica dos sistemas da usina hidrelétrica



Fonte: Autoria própria

O primeiro item na estrutura hierárquica da Figura 6.1 engloba as quatro unidades geradoras (1.1. a 1.4.) da usina hidrelétrica. Os demais itens são adjacentes à geração de energia tais como os transformadores elevadores (2), as estruturas civis (6) e de drenagem e esgotamento (3), sistemas de utilidades (4) como sistemas de ar comprimido, tratamento de água, ventilação e exaustão, entre outros. Na Figura 6.2, apresenta-se o detalhamento dos subsistemas no primeiro nível hierárquico de uma unidade geradora (UG) da unidade.

Figura 6.2 – Estrutura hierárquica dos subsistemas de uma unidade geradora



Fonte: Autoria própria



A compreensão da usina hidrelétrica e de seu gerenciamento de manutenção foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo de caso. Para tal, realizaram-se solicitações de informações e documentos para a usina hidrelétrica, reuniões com colaboradores técnicos da unidade, visita técnica à planta e coletas de dados *in loco*. Os principais dados coletados e registrados como resultados dessas atividades estão apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Principais dados coletados e registrados da usina hidrelétrica

<b>Atividade</b>	<b>Informações e documentos</b>
Solicitação direta à usina hidrelétrica	Manuais de operação, instruções técnicas e procedimentos de manutenção, portfólio de ativos físicos, estrutura hierárquica de ativos, relatórios de incidentes, estados operativos das unidades geradoras, ordens de manutenção, planos de manutenção, entre outros
Reuniões com colaboradores técnicos	Esclarecimento de questões regulatórias, relatórios anuais da organização, informações complementares acerca dos documentos recebidos
Visita técnica à usina hidrelétrica	Verificação do sistema de supervisão, verificação de sistemas de monitoramento da condição dos ativos, disposição do portfólio de ativos, layout do planejamento de manutenção e operação, oficina e ambientes de manutenção
Coleta de dados <i>in loco</i>	Registros fotográficos, condições operacionais dos ativos físicos, desenhos técnicos e familiarização com a rotina

Fonte: Autoria própria

A análise das informações e documentos coletados e registrados possibilitou estabelecer o entendimento aprofundado da usina hidrelétrica e de seu gerenciamento de manutenção. A disponibilidade desses dados ainda embasou as demonstrações dos processos da estrutura proposta para a avaliação de sua aplicabilidade no contexto da usina hidrelétrica. Logo, nas próximas cinco seções, esses processos são discutidos um a um contribuindo também para a compreensão da estrutura proposta na prática.

## **6.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO**

O processo inicial da estrutura proposta é o “Definir escopo”, conforme apresentado na Figura 5.1. Esse processo é composto por uma sequência de quatro

atividades: “Definir critérios”, “Definir método da análise”, “Aplicar método de análise” e “Definir portfólio de ativos”. Logo, como resultado, tem-se a definição do portfólio de ativos físicos coberto pelo escopo da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

Em relação às diretrizes de gestão de ativos dispostas na série ISO 55000, esse primeiro processo foi modelado de forma alinhada com o elemento “Contexto da organização” e seus requisitos (ABNT, 2014b). Assim, o entendimento da organização e seu contexto assim como das necessidades e das expectativas das partes interessadas (*stakeholders*) em relação ao gerenciamento de manutenção fornece dados para a realização das atividades deste processo.

Para a demonstração deste processo a partir do contexto da usina hidrelétrica deste estudo de caso, considerou-se a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção aplicável para a gestão de ativos físicos críticos da unidade. Logo, a primeira atividade “Definir critérios” deve identificar quais critérios são pertinentes para uma análise de criticidade dos ativos físicos considerando o contexto da organização. Na sequência, a atividade “Definir método de análise” seleciona uma ferramenta de análise que seja aplicável aos critérios e ao propósito de análise de criticidade. Por fim, aplica-se o método de análise na terceira atividade e, a partir dos seus resultados, determina-se o escopo do gerenciamento de manutenção com o portfólio de ativos físicos associado.

De acordo com as definições na norma ABNT NBR ISO 55000:2014, os ativos podem ser críticos nos aspectos de segurança, ambiental ou de desempenho e ainda podem ser relacionar com os requisitos legais e regulatórios (ABNT, 2014a). Assim, buscou-se identificar critérios para o estudo de caso considerando esses quatro aspectos de criticidade. Além disso, esses critérios deveriam estar alinhados com o entendimento da organização e das necessidades e expectativas de suas partes interessadas.

Para tal, utilizou-se os relatórios integrados de desempenho da organização para identificar os objetivos organizacionais da usina hidrelétrica e derivar critérios para a análise de criticidade nos quatro aspectos de criticidade dos ativos (DA SILVA et al., 2019). Com o alinhamento entre os critérios que estabelecem a criticidade dos ativos e os objetivos organizacionais, o gerenciamento de manutenção dos ativos críticos contribui para atingir os objetivos organizacionais. Os critérios definidos para a avaliação de criticidade dos ativos físicos estão apresentados na Tabela 6.2. A

pertinência desses critérios foi validada com o engenheiro responsável pela operação e manutenção da usina hidrelétrica e ponto de contato deste estudo de caso.

Tabela 6.2 – Critérios para definição do portfólio de ativos críticos

<b>Cód.</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
S1	Segurança	Classificação de segurança	Impactos de segurança associados à falha do ativo físico e à condição para manutenção
S2	Segurança	Histórico de segurança	Ocorrência de eventos indesejados de segurança associados ao ativo físico nos últimos 5 anos
A1	Ambiental	Classificação ambiental	Impactos ambientais associados à falha do ativo físico e à condição para manutenção
A2	Ambiental	Histórico ambiental	Ocorrência de eventos indesejados ambientais associados ao ativo físico nos últimos 5 anos
D1	Desempenho	Confiabilidade	Classificação numérica com base na taxa de falha do ativo físico nos últimos 5 anos
D2	Desempenho	Mantenabilidade	Classificação numérica com base no tempo de retorno do ativo físico em manutenção
R1	Regulatório	Impacto na geração	Impacto da falha do ativo físico na disponibilidade e geração de energia elétrica

Fonte: Autoria própria

Uma vez que os critérios para a definição do portfólio de ativos físicos do escopo da estrutura proposta de gerenciamento de manutenção foram definidos, avançou-se para a próxima atividade do processo “Definir escopo”. Decidiu-se por utilizar um método de suporte à tomada de decisão multicritério (*Multicriteria decision-making*, MCDM) como ferramenta de análise aplicável a esse estudo de caso. Com isso, os tomadores de decisão podem estruturar e esclarecer seu pensamento, explorar compensações entre critérios e fornecer uma justificativa documentada e defensável para uma determinada decisão (GOODWIN; WRIGHT, 2014).

Esses benefícios são relevantes para a definição do portfólio de ativos físicos visto que o escopo da estrutura proposta se reflete em todas os demais processos e atividades. Segundo Sabaei, Erkoyuncu e Roy (2015), o Processo de Hierarquia Analítica (do inglês, *Analytic Hierarchy Process*, AHP) é o método de MCDM mais utilizado na área de gerenciamento de manutenção. Ademais, o AHP já foi aplicado para identificação de itens mais críticos de manutenção (DEHGHANIAN et al., 2012; TANG et al., 2017). Logo, selecionou-se o AHP como resultado da atividade “Definir método de análise” para este estudo de caso.

Em síntese, o AHP é um método compensatório multicritério de apoio à tomada de decisão desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70 e que permite a aplicação a problemas em diversas áreas do conhecimento (LEONETI; PIRES, 2017). Segundo Saaty e Hu (1998), AHP é uma abordagem matemática para derivar vetores de prioridade a partir de matrizes recíprocas positivas com entradas estabelecidas por comparações pareadas (*pairwise*).

Dessa forma, por meio de solicitações de informações, os colaboradores técnicos da usina hidrelétrica contribuíram com as avaliações necessárias para a aplicação do AHP na terceira atividade do processo “Definir escopo”. Primeiro, os critérios de criticidade da Tabela 6.2 foram avaliados aos pares para criar a matriz de comparação par a par. Esta atividade utilizou a escala de importância relativa apresentada na Tabela 6.3 que foi baseada na escala fundamental do AHP (SAATY; VARGAS, 2012).

Tabela 6.3 – Escala para comparação entre pares de critérios

<b>Nota</b>	<b>Definição</b>	<b>Descrição</b>
1	Mesma importância	Os dois critérios contribuem igualmente para a classificação da criticidade do ativo físico
3	Importância moderada	Um critério contribui ligeiramente melhor para a classificação da criticidade do ativo físico
5	Maior importância	Um critério contribui melhor para a classificação da criticidade do ativo físico
7	Importância muito maior	Um critério contribui muito melhor para a classificação da criticidade do ativo físico
9	Extrema importância	Um critério contribui extremamente mais para a classificação da criticidade do ativo físico

Fonte: Autoria própria

A matriz de comparação par a par organizou as relações de importância entre os critérios após as avaliações, conforme mostrado na Tabela 6.4. Por exemplo, o critério classificação de segurança (S1) contribui melhor para a classificação da criticidade de ativo do que o critério manutenção (D2) visto que esta comparação pontuou 5.

Tabela 6.4 – Matriz de comparação par a par para os critérios de criticidade

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>
<b>S1</b>	1	5	3	9	5	5	5
<b>S2</b>	1/5	1	2	3	3	3	2
<b>A1</b>	1/3	1/2	1	5	3	3	3
<b>A2</b>	1/9	1/3	1/5	1	2	2	1
<b>D1</b>	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1	1/5
<b>D2</b>	1/5	1/3	1/3	1/2	1	1	1/5
<b>R1</b>	1/5	1/2	1/3	1	5	5	1

Fonte: A autoria própria

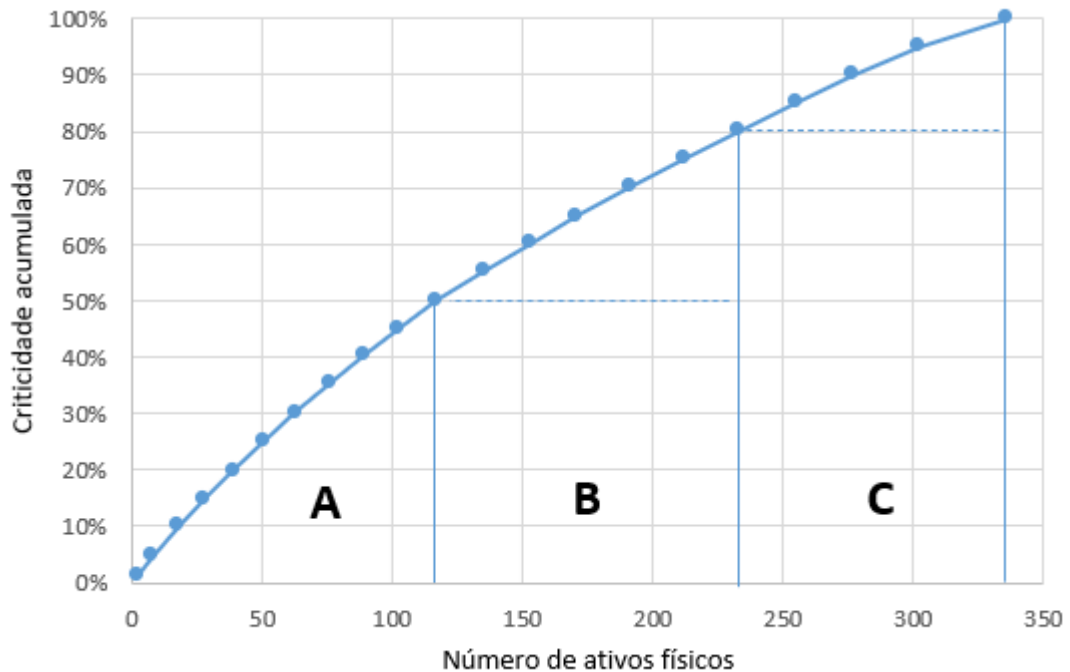
A partir da Tabela 6.4, obtiveram-se os pesos relativos dos critérios de criticidade por meio do autovetor principal dessa matriz de comparação par a par. Para tanto, cada elemento desse autovetor foi dividido pela soma de seus elementos de modo que somem 1 e resultem no peso relativo correspondente para cada critério (SAATY, 2004). Por exemplo, como a classificação de segurança (S1) é o primeiro critério na matriz de comparação par a par, seu peso relativo foi derivado da divisão do primeiro elemento no autovetor principal pela soma de seus elementos. Os pesos relativos obtidos para os critérios de criticidade foram 0,4206 para classificação de segurança (S1), 0,1601 para histórico de segurança (S2), 0,1653 para classificação ambiental (A1), 0,0616 para histórico ambiental (A2), 0,0430 para confiabilidade (D1), 0,0430 para manutenibilidade (D2) e 0,1064 para impacto na geração (R1).

Uma vez que esses pesos foram definidos, solicitou-se à usina hidrelétrica informações sobre o desempenho de cada ativo físico em relação aos sete critérios de criticidade. Dessa forma, cada ativo físico em nível de equipamento ou sistema foi avaliado considerando as informações na Tabela 6.2 e atribuindo um valor numérico baseada em uma escala de 1 a 9, onde 1 é o melhor desempenho no critério e o 9 é o pior desempenho. Na sequência, esses ativos foram ranqueados a partir da nota final obtida através da agregação ponderada considerando os pesos relativos de cada critério de criticidade e a avaliação de cada ativo físico em cada um desses critérios.

Ao todo, 336 ativos físicos da usina hidrelétrica foram avaliados nos sete critérios de criticidade e ordenados pela nota de criticidade final agregada, conforme apresentado em detalhes no Apêndice A. Com esses resultados, definiram-se três

classes de criticidade de ativos (A, B e C) considerando a criticidade acumulada a partir das notas finais dos ativos físicos, conforme exposto na Figura 6.3.

Figura 6.3 – Classificação da criticidade dos ativos físicos



Fonte: Autoria própria

O grupo de equipamentos e sistemas mais críticos (A) contemplou 117 itens de maior criticidade que totalizaram 50% da criticidade acumulada dos 336 ativos físicos. Já o grupo B incluiu 95 equipamentos e sistemas que totalizaram 30% da criticidade acumulada. Por fim, o grupo dos ativos de menor criticidade (C) abrangeu 124 itens que representam 20% da criticidade acumulada. Para melhor compreensão, a Tabela 6.5 mostra a classificação de criticidade obtida para alguns ativos da unidade após a aplicação do AHP.

Com as classificações de criticidades resultantes da atividade “Aplicar método de análise”, avançou-se para a atividade “Definir portfólio de ativos”. Essa última atividade do processo “Definir escopo” utiliza os resultados obtidos com a aplicação do método de análise da atividade anterior para embasar a definição de quais ativos físicos serão incorporados no escopo da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos.

Tabela 6.5 – Ordenação de criticidade do portfólio de ativos físicos da usina

Posição	Cód.	Descrição	Local	Nota final	Classe
1	6.2.	Barragem	Usina	6,0312	A
2	6.4.	Vertedouro	Usina	6,0312	A
3	1.1.1.2.	Grades de adução	UG 01	6,0196	A
4	1.2.1.2.	Grades de adução	UG 02	6,0196	A
5	1.3.1.2.	Grades de adução	UG 03	6,0196	A
6	1.4.1.2.	Grades de adução	UG 04	6,0196	A
7	2.1.	Transformador elevador 7TR1	Usina	5,8046	A
8	2.2.	Transformador elevador 7TR2	Usina	5,8046	A
9	2.3.	Transformador elevador 7TR3	Usina	5,8046	A
10	2.4.	Transformador elevador 7TR4	Usina	5,8046	A
11	1.4.7.2.3.	Mecanismo Kaplan UG04	UG 04	5,1242	A
12	1.1.7.2.3.	Mecanismo Kaplan UG01	UG 01	5,0812	A
13	1.2.7.2.3.	Mecanismo Kaplan UG02	UG 02	5,0812	A
14	1.3.7.2.3.	Mecanismo Kaplan UG03	UG 03	5,0812	A
15	1.3.2.3.	Distribuidor	UG 03	5,0064	A
...	...	...	...	...	...
118	1.4.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 04	2,9867	B
119	1.1.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 01	2,9437	B
120	1.1.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 01	2,9437	B
121	1.2.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 02	2,9437	B
122	1.2.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 02	2,9437	B
...	...	...	...	...	...
332	4.7.	Sistema de resfriamento comum	Usina	1,0000	C
333	10.4.	Rede de dados	Usina	1,0000	C
334	10.5.	Computadores e servidores	Usina	1,0000	C
335	11.1.5.	Painel 10F de serviços auxiliares	Usina	1,0000	C
336	4.11.	Sistema de vigilância	Usina	1,0000	C

Fonte: Autoria própria

Neste estudo de caso, consideram-se os ativos físicos de classe A e B para compor o portfólio de ativos coberto pelo escopo da estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Essa decisão levou em consideração as necessidades e expectativas das partes interessadas da usina hidrelétrica em relação à gestão de ativos, que deseja priorizar os ativos de maior impacto potencial para o alcance dos objetivos da organização. Dessa forma, os ativos de classe C, de menor criticidade, não foram incluídos no portfólio de ativos físicos e o gerenciamento de manutenção deles não precisa seguir os processos e atividades da estrutura proposta, focando recursos nos itens de maior criticidade para a gestão de ativos.

### 6.3 PLANEJAMENTO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO

O processo conseguinte ao processo “Definir escopo” na estrutura proposta de gerenciamento de manutenção é o “Planejar”. Esse processo é composto por nove atividades e quatro possíveis eventos de início, conforme exposto na Figura 5.3. O início padrão ocorre após a definição do portfólio de ativos físicos e conduz à atividade “Estabelecer os objetivos do gerenciamento de manutenção”. Uma vez concluída, essa atividade só é reiniciada com uma mensagem de revisão dos objetivos da organização ou da gestão de ativos, acionada pelo segundo evento de início.

A partir dos objetivos do gerenciamento de manutenção, conduzem-se o planejamento das atividades de manutenção para o portfólio dos ativos físicos e o das ações necessárias para o gerenciamento de manutenção, respectivamente, nas atividades “Elaborar os planos de manutenção para o portfólio de ativos” e “Elaborar os planos de ação para o gerenciamento de manutenção”. Essas atividades visam estabelecer e documentar planos para alcançar os objetivos do gerenciamento de manutenção e, conseqüentemente, da gestão de ativos na organização.

Por fim, com a revisão do escopo do gerenciamento de manutenção, reinicia-se a atividade “Elaborar os planos de manutenção para o portfólio de ativos” visto que podem ser necessárias inclusões e/ou exclusões nos planos estabelecidos. Já o quarto evento de início que conduz às demais atividades do processo “Planejar” é acionado a partir das saídas do quinto processo “Melhorar”, retroalimentando o planejamento do gerenciamento de manutenção.

Em relação às diretrizes de gestão de ativos dispostas na série ISO 55000, o processo “Planejar” foi modelado considerando o elemento “Planejamento” e seus requisitos (ABNT, 2014b). Segundo a norma ABNT NBR ISO 55002:2020, o objetivo deste elemento é derivar os objetivos da gestão de ativos a partir dos objetivos da organização e determinar as atividades e recursos necessários para alcançá-los (ABNT, 2020). De forma análoga, considerando-se apenas o estágio de manutenção do ciclo de vida dos ativos físicos, os objetivos do gerenciamento de manutenção são derivados dos objetivos da gestão de ativos e as atividades e recursos necessários para alcançá-los são definidos.

A demonstração deste processo para este estudo de caso iniciou-se com a definição dos objetivos do gerenciamento de manutenção considerando o contexto da usina hidrelétrica. Uma vez que a organização não possuía objetivos específicos para



a gestão de ativos estabelecidos, derivaram-se os objetivos de gerenciamento de manutenção a partir dos objetivos da unidade de negócio de geração de energia que, por sua vez, foram derivados dos objetivos estratégicos da organização. A partir dos relatórios anuais de desempenho da companhia, selecionaram-se alguns objetivos estratégicos para essa atividade. Na Tabela 6.6, apresentam-se os desdobramentos desses objetivos para o gerenciamento de manutenção a fim de melhor compreensão.

Tabela 6.6 – Desdobramento de objetivos do gerenciamento de manutenção

<b>Objetivos estratégicos</b>	<b>Objetivos da geração de energia</b>	<b>Objetivos do gerenciamento de manutenção</b>
Eliminar acidentes fatais de funcionários e prestadores de serviço	Fortalecer a cultura de saúde e segurança aos funcionários e prestadores de serviço	Engajar a manutenção com a cultura de saúde e segurança da organização
	Gerenciar os riscos de segurança na geração de energia com o apoio de um sistema de gestão de risco	Tratar os riscos de segurança associados ao ativo físico com atividades de manutenção
Reduzir vulnerabilidade dos clientes	Melhorar a disponibilidade a geração de energia	Garantir que os equipamentos estejam disponíveis e confiáveis para operação
		Reduzir as falhas recorrentes
		Reparar os ativos físicos sem atrasos para operação
		Investir capital em projetos de manutenção com maior retorno de disponibilidade
	Atender às expectativas de satisfação do cliente	Contribuir para atender às demandas e necessidades dos clientes
Eliminar acidentes e multas ambientais	Prevenir impactos ambientais negativos na geração de energia	Prevenir impactos ambientais negativos nas atividades de manutenção
		Prevenir impactos ambientais negativos com atividades de manutenção
Desenvolver as pessoas	Desenvolver os funcionários da geração de energia	Identificar e desenvolver conhecimentos técnicos e habilidades necessários na equipe de manutenção

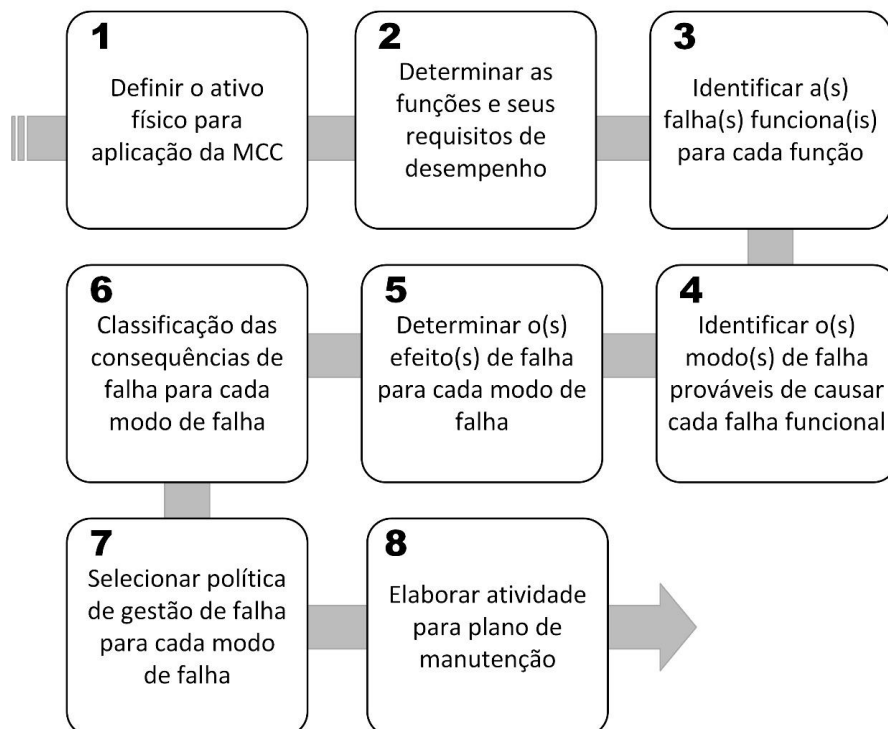
Fonte: Autoria própria

A partir dos objetivos do gerenciamento de manutenção exemplificados na Tabela 6.6, evidencia-se que o planejamento de manutenção precisa ser abrangente e estabelecer planos de manutenção não somente para o portfólio de ativos físicos,

mas para outros aspectos do gerenciamento de manutenção. Em muitos casos, esses planos precisam considerar diretrizes de outras funções da organização tais como recursos humanos, financeiro, saúde e segurança entre outras. Dessa forma, com os objetivos do gerenciamento de manutenção definidos, avançou-se para as atividades paralelas “Elaborar os planos de manutenção para o portfólio de ativos” e “Elaborar os planos de ação para o gerenciamento de manutenção”.

Para suportar a elaboração dos planos de manutenção para o portfólio de ativos físicos, decidiu-se por utilizar o método da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) como ferramenta aplicável a essa atividade. A MCC é o método usado para identificar as políticas que devem ser implementadas para a gestão dos modos de falha que podem causar a falha funcional de qualquer ativo físico em um determinado contexto operacional (SAE, 2009). Em outras palavras, a MCC possibilita que a organização selecione atividades de manutenção para os ativos físicos em que se deseja manter suas funcionalidades (SIQUEIRA, 2014). Além disso, desde sua origem no final dos anos 80, a MCC tem sido usada em quase todos os setores e em quase todos os países industrializados do mundo (SAE, 2009). Em síntese, a aplicação da MCC pode ser realizada em oito etapas, conforme exposto na Figura 6.4.

Figura 6.4 – Etapas da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)



Fonte: Autoria própria

De modo geral, as primeiras etapas (1 a 4) da MCC conduzem a uma análise dos modos de falhas potenciais para interrupção das funções primárias e secundárias dos ativos físicos. Na sequência, identificam-se os efeitos de falha para cada modo de falha e classificam-se as consequências de falha considerando que cada modo de falha tenha ocorrido nas etapas 5 e 6. Segundo as instruções da norma SAE JA1011, a categorização da consequência de falha (CCF) deve separar os modos de falhas ocultos dos evidentes além de distinguir aqueles que afetam segurança e/ou meio ambiente daqueles que tem impacto apenas operacional (SAE, 2009). Por exemplo, pode-se classificar as consequências em evidentes de segurança e/ou ambiental (ESA), evidentes e operacionais (EO), ocultas de segurança e/ou ambiental (ESA) e ocultas e operacionais (OO).

A partir da classificação das consequências de falha, inicia-se a seleção da política de gestão de falha (SPGF) conforme pertinência e aplicabilidade para cada modo de falha. Entre as possíveis políticas estão atividade programada sob condição (APSC), atividade programada de descarte (APDc), atividade programada de recuperação (APR), atividade programada de detecção (APDt), reprojeto (RE) e sem atividade de manutenção programada (SAMP) (SAE, 2009). Por fim, na última etapa da MCC, elaboram-se as atividades para o plano de manutenção do ativo físico seguindo as diretrizes de cada política de gestão de falha.

Uma vez que o portfólio de ativos físicos coberto no escopo da estrutura de gerenciamento de manutenção deste estudo de caso contempla cerca de 200 ativos, conforme apresentado na seção anterior, demonstra-se a aplicação da MCC para elaboração dos planos de manutenção apenas para alguns desses ativos físicos. Em uma implementação real da estrutura proposta recomenda-se que essa atividade seja desenvolvida seguindo um planejamento que atenda as expectativas da organização. Por exemplo, a elaboração dos planos de manutenção pode priorizar os ativos de maior criticidade na ordem da aplicação da MCC.

Na Tabela 6.7, apresentam-se os resultados da aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade para três ativos físicos de criticidade A que pertencem às unidades geradoras e listados na Tabela 6.5. Cabe destacar que essa atividade seguiu as etapas apresentadas na Figura 6.4 e utilizou como apoio as orientações dispostas nas normas SAE JA1011 e JA1012 (SAE, 2009, 2011) que são específicas para aplicação da MCC.

Tabela 6.7 – Aplicação da MCC para elaboração de planos de manutenção

(continua)

Ativos físico	Funções	Falhas funcionais	Modos de falha	Efeitos de falha	CCF	SPGF	Atividade de manutenção	Periodicidade
1.1.1.2. Grades de adução	[1] Proteger a adução de detritos que possam danificar a turbina	Não proteger a adução de detritos	Grade de adução rompida	Perda de proteção da turbina contra detritos provenientes do rio, danos imediatos aos componentes da turbina e parada da UG	OO	APDt	Inspeccionar a condição estrutural das grades de adução	Parada anual
	[2] Permitir a passagem de água para a adução	Permitir a passagem de água com vazão menor que a esperada	Grade de adução parcialmente entupida	Redução da vazão de entrada da água, comprometendo a geração de energia	EO	APSC	Realizar a limpeza das grades com o uso do limpador de grades hidráulico	Sob demanda baseada na pressão diferencial
		Não permitir a passagem de água para a adução	Grade de adução totalmente entupida	Á água não flui para entrada de água, impedindo a geração de energia	EO	APSC	Realizar a limpeza das grades com o uso do limpador de grades hidráulico	Sob demanda baseada na pressão diferencial
1.4.7.2.3. Mecanismo Kaplan	[1] Movimentar as pás da turbina Kaplan	Não movimentar as pás da turbina Kaplan	Guia central com fluxo de óleo interrupto	Mecanismo Kaplan inoperante e parada do hidrogerador quando solicitar mudança	OO	APDt	Inspeccionar guia central	Parada anual
						APSC	Filtrar óleo hidráulico	Sob demanda baseada na condição
			Servomotor (atuador hidráulico) travado	Perda de acionamento do atuador, mecanismo Kaplan inoperante e parada do hidrogerador na mudança	OO	APDt	Inspeccionar e testar servomotor	Parada anual
			Cruzeta rompida	Mecanismo Kaplan inoperante e parada do hidrogerador quando solicitar mudança	OO	APDt	Inspeccionar condição da cruzeta	Parada anual

Tabela 6.7 – Aplicação da MCC para elaboração de planos de manutenção

								(conclusão)
Ativos físico	Funções	Falhas funcionais	Modos de falha	Efeitos de falha	CCF	SPGF	Atividade de manutenção	Periodicidade
1.4.7.2.3. Mecanismo Kaplan	[2] Permitir o movimento suave e contínuo das pás da turbina	Não permitir a movimentação das pás da turbina de forma suave e contínua	Sistema biela-manivela rompido	Mecanismo Kaplan inoperante e parada do hidrogerador quando solicitar mudança	OO	APDt	Inspeccionar sistema biela-manivela	Parada anual
			Servomotor operando com vibração excessiva	Movimentação das pás de forma irregular e possível parada do hidrogerador	OO	APSC	Monitorar a posição das pás da turbina	Contínua
			Cruzeta com folga	Movimentação das pás de forma irregular e possível parada do hidrogerador	OO	APSC	Monitorar a posição das pás da turbina	Contínua
			Sistema biela-manivela com folga	Movimentação das pás de forma irregular e possível parada do hidrogerador	OO	APSC	Monitorar a posição das pás da turbina	Contínua
1.3.2.3. Distribuidor	[1] Permitir controle o fluxo de água para o rotor da turbina	Não permite controle o fluxo de passagem de água para o rotor da turbina	Palhetas móveis travadas	Não há distribuição uniforme do fluxo de água, podendo levar à perda de sincronismo e a parada da UG	EO	SAMP	-	-
	[2] Distribuir de forma homogênea e balanceada a água ao redor do rotor da turbina	Distribuir a água de forma de forma irregular ao redor do rotor	Palhetas móveis rompidas	Não há distribuição uniforme do fluxo de água, podendo levar à perda de sincronismo e a parada da UG	OO	APDt	Verificar condição estrutural das palhetas	Parada anual
			Palhetas móveis desalinhadas	Não há distribuição uniforme do fluxo de água, podendo levar à perda de sincronismo e a parada da UG	OO	APDt	Verificar condição do mancal das palhetas	Parada anual

Fonte: Autoria própria

Conforme pode ser observado na Tabela 6.7, a aplicação da MCC demanda um conhecimento técnico e especializado acerca dos ativos físicos da organização. Isso reforça a necessidade de a organização planejar a condução dessa atividade incluindo, por exemplo, um cronograma que contemple os ativos físicos e o time designado para executar a atividade. Ademais, pode ser interessante utilizar um facilitador especializado em MCC para contribuir com o desenvolvimento desta etapa.

Por fim, cabe também destacar que, a partir dos resultados da MCC, a organização pode agrupar diferentes atividades de manutenção elaboradas para o mesmo ativo físico em um mesmo plano de manutenção. Esses planos podem ser incorporados ao Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção (CMMS) da usina hidrelétrica a fim de contribuir para o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM). Segundo de Souza et al. (2021), esses sistemas são utilizados no gerenciamento de manutenção para, principalmente, apoiar a gestão de ordens de serviço de manutenção e todos os aspectos associados a elas, como custo, mão de obra, procedimentos e programação.

Com a conclusão da demonstração da elaboração dos planos de manutenção para o portfólio de ativos físicos por meio da MCC, apresenta-se a elaboração dos planos de ação para o gerenciamento de manutenção. Para tal, decidiu-se por utilizar planilhas eletrônicas como ferramenta de suporte aplicável a essa atividade desse estudo de caso. De modo geral, a elaboração desses planos de ações visa contribuir para o alcance de outros objetivos do gerenciamento de manutenção da Tabela 6.6 que não estão diretamente associados aos ativos físicos.

Neste estudo de caso, elaborou-se apenas um plano de ação para o alcance de outros dois objetivos do gerenciamento de manutenção a fim de demonstrar a execução dessa atividade do processo “Planejar”. Em uma implementação real da estrutura proposta recomenda-se que a organização integre todos os planos de ação definidos para o alcance desses outros objetivos do gerenciamento de manutenção em uma mesma planilha eletrônica ou *software*. Isso contribui para a centralização do planejamento e controle das atividades destes planos de ação para o gerenciamento de manutenção.

Dessa forma, demonstra-se a atividade “Elaborar os planos de ação para o gerenciamento de manutenção” por meio da exemplificação de um plano de ação para o alcance dos objetivos do gerenciamento de manutenção “Engajar a manutenção com a cultura de saúde e segurança da organização” e “Prevenir impactos ambientais

negativos com atividade de manutenção”. Essa atividade baseou-se no entendimento do contexto da usina hidrelétrica para elaborar os planos de ação, conforme expostos na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Planos de ação para o gerenciamento de manutenção

<b>Objetivos</b>	<b>Ações</b>	<b>Método</b>	<b>Frequência</b>	<b>Responsável</b>
Engajar a manutenção com a cultura de saúde e segurança da organização	Realizar comunicados de saúde e segurança com a equipe de manutenção	Diálogo semanal de saúde e segurança	Semanal	Engenheiro da usina
	Garantir cumprimento dos treinamentos obrigatórios de saúde e segurança para equipe de manutenção	Programação dos treinamentos para equipe de manutenção	Mensal	Planejador de manutenção
	Instruir prestadores de serviço acerca das políticas internas de saúde e segurança	Orientação junto à liberação de serviço de manutenção	Sob demanda	Engenheiro da usina
	Garantir contratação de prestadores de serviço que atendam às exigências de saúde e segurança	Comprovação de exigências de forma antecipada	Sob demanda	Engenheiro da usina
	Identificar de melhorias para saúde e segurança em conjunto com equipe de manutenção	Reuniões com equipe de manutenção sobre sugestões	Semestral	Engenheiro da usina
Prevenir impactos ambientais negativos com atividades de manutenção	Garantir cumprimento dos planos de manutenção para os ativos cujas falhas possuem impacto potencial ao meio ambiente	Monitorar através de indicador de desempenho	Mensal	Engenheiro da usina
	Demonstrar comprometimento e suporte à gestão ambiental da usina hidrelétrica	Reuniões com equipe de ambiental da usina hidrelétrica	Mensal	Engenheiro da usina

Fonte: Autoria própria

Os resultados apresentados na Tabela 6.8 corroboram a diferença entre as duas atividades “Elaborar os planos de manutenção para o portfólio de ativos” e “Elaborar os planos de ação para o gerenciamento de manutenção” do processo “Planejar”. A primeira, através do apoio de um método como MCC, obtém atividades para compor planos de manutenção para o portfólio de ativos físicos, considerando o contexto e os objetivos do gerenciamento de manutenção na seleção da política de manutenção aplicável. Já a segunda obtém planos compostos por ações para o alcance dos objetivos que não estão associados diretamente com os ativos físicos, mas são necessidades e/ou expectativas das partes interessadas.

A partir da Tabela 6.8, cabe destacar que para um objetivo mais de uma ação pode ser planejada. Além disso, outras informações podem ser incorporadas para melhor detalhamento do plano de ação tal como a prioridade das ações, os recursos necessários (Ex. horas de trabalho, sobressalentes), o prazo, *status*, implicações financeiras, riscos associados, entre outros. Vale também destacar que as ações desses planos costumam ser direcionadas à liderança do gerenciamento de manutenção. Na usina hidrelétrica deste estudo de caso, a responsabilidade tanto da operação quanto da manutenção é do engenheiro responsável pela unidade. No entanto, caso seja pertinente, essas ações podem ter a responsabilidade atribuída a outro colaborador da equipe.

Durante a implementação da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos, ou seja, durante a realização do primeiro ciclo da estrutura, o processo “Planejar” encerra-se após a conclusão das duas atividades paralelas de elaboração de planos. As demais atividades apresentadas no processo “Planejar”, conforme abordado anteriormente, são acionadas por um evento de início do tipo mensagem que comunica a necessidade de planejamento de ações elaboradas durante o processo “Melhorar”. Portanto, nesta seção, essas atividades não serão demonstradas, mas serão discutidas, posteriormente, a partir dos resultados da demonstração do processo “Melhorar” na Seção 6.6.

#### **6.4 EXECUÇÃO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO**

Com os resultados do processo “Planejar”, avança-se para o processo “Executar” conforme exposto na proposta de estrutura de gerenciamento de



manutenção para gestão de ativos físicos na Figura 5.1. Embora não seja o padrão, esse processo também pode receber como entradas ações elaboradas no processo “Melhorar” que foram encaminhadas diretamente para a execução, acionando o evento de início secundário do tipo mensagem no final do processo “Executar”.

Já o evento de início principal é do tipo temporal e conduz ao fluxo completo de atividades do processo, conforme exposto na Figura 5.4. Com isso, a sequência de atividades deste processo é acionada com base na periodicidade da rotina de programação de manutenção da organização. Uma vez ativado, o processo inicia com o levantamento de todas as ações e atividades de manutenção planejadas que estão aguardando execução. Isso engloba, por exemplo, todas as atividades dos planos de manutenção dos ativos físicos que precisam ser feitas na ocasião, ações provenientes dos planos de gerenciamento de manutenção e ações que foram elaboradas durante o processo “Melhorar”.

Em seguida, avalia-se a necessidade e pertinência de realizar uma análise de priorização das ações, elaborar ações para tratar riscos associados à terceirização das atividades de manutenção e/ou mudanças a serem implementadas e programar as ações. Na sequência, as atividades e ações são executadas pelos responsáveis que registram as informações referentes à conclusão, encerrando o processo no evento final padrão. No entanto, quando incidentes indesejados, riscos não tolerados e/ou oportunidades para melhoria tenham sido identificadas durante a execução, pode-se encaminhar essas ocorrências para tratamento no processo “Melhorar” conforme a relevância para o gerenciamento de manutenção.

Em relação às diretrizes de gestão de ativos dispostas na série ISO 55000, o processo “Executar” foi modelado considerando o elemento “Operação” e seus requisitos (ABNT, 2014b). Assim, esse processo está alinhado com o planejamento operacional e controle necessários para implementar, por exemplo, os planos de manutenção, os planos de ação do gerenciamento de manutenção e as ações elaboradas no processo “Melhoria”. Além disso, o processo “Executar” leva em consideração a necessidade de tratamento de riscos não tolerados associados a terceirização e/ou mudanças a serem implementadas.

Neste estudo de caso, a demonstração do processo “Executar” iniciou-se com a priorização de atividades de manutenção para os ativos físicos que foram identificadas por meio de ordens de serviço que aguardam execução (*backlog*). Em outras palavras, essa etapa exemplifica como a organização pode estabelecer

prioridades a partir de uma base de ordens de serviço (OS) de manutenção de diferentes tipos que está centralizada, por exemplo, em um Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção (CMMS). Ainda, a demonstração desse processo considerou o ponto de vista do Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), limitando-se às atividades de manutenção para os ativos físicos. No entanto, cabe destacar que o processo “Executar” também engloba a execução das ações de manutenção estabelecidas nos planos de ação do gerenciamento de manutenção.

A pertinência da análise de priorização para a base de OS de manutenção para o portfólio de ativos físicos da usina justifica-se pela alta demanda de disponibilidade das unidades geradoras (UGs) e intervalos curtos para intervenções de manutenção. Além disso, a equipe de manutenção interna é reduzida e a usina costuma contratar mão-de-obra especializada externa nas paradas planejadas das UGs. Dessa forma, é essencial que as prioridades de execução sejam periodicamente estabelecidas para a programação de atividades de forma alinhada com as necessidades e expectativas do gerenciamento de manutenção. Ainda, em casos de oportunidades de manutenção, entender quais atividades são mais significativas colabora com a alocação apropriada de recursos de manutenção.

A partir do entendimento do contexto da organização e das informações disponíveis no CMMS, estabeleceram-se quatro critérios a serem considerados para a priorização das OS de manutenção para os ativos físicos, conforme exposto na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Critérios e pesos relativos para priorização de OS

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Peso</b>
Custo da ordem de serviço de manutenção (COSM)	O custo total associado à OS (peças de reposição, mão-de-obra e logística)	Extremamente baixo a extremamente alto	0,133
Criticidade do ativo físico associado (CAFA)	Pontuação referente à criticidade do ativo físico associado à OS	Nota da criticidade do ativo físico	0,533
Tipo da ordem de serviço de manutenção (TOSM)	Classificação da OS em relação ao tipo da ação de manutenção	Menor prioridade a máxima prioridade	0,267
Tempo aguardando execução (TAE)	Quantidade de dias em que a OS aguarda execução	Número de dias em espera	0,067

Fonte: Autoria própria

A pertinência dos critérios de priorização de OS de manutenção foi validada com o engenheiro responsável pela operação e manutenção da usina hidrelétrica que também contribuiu com as atribuições de pesos absolutos para cada um dos critérios. Os pesos relativos entre os critérios apresentados na Tabela 6.9 foram obtidos por meio da divisão do peso absoluto atribuído a cada critério pelo somatório dos pesos absolutos dos critérios.

Quanto à escala de avaliação de desempenho das OSs em relação a cada critério, destaca-se que, para o critério COSM, atribui-se uma pontuação numérica entre 1 e 9, onde 1 é um custo extremamente baixo e 9 é extremamente elevado. Para o critério CAFA, considera-se a nota de criticidade do ativo associado com a OS em avaliação, conforme análise de criticidade da Seção 6.2. Já para o critério TOSM, atribui-se uma pontuação numérica entre 1 e 9 de acordo com o tipo de OS, onde 1 é um tipo de OS de menor prioridade e 9 é prioridade máxima. Por fim, para o critério TAE, normalizam-se os números de dias em espera do conjunto de OS a fim de estabelecer a mesma escala de 1 a 9 dos outros três critérios.

O banco de ordens de serviço de manutenção elaborado para este estudo de caso foi baseado nas informações reais e no contexto da usina hidrelétrica. Limitou-se às atividades de manutenção de uma única unidade geradora (UG 01) e seus equipamentos auxiliares (EA) adjacentes. Deste modo, um total de 71 ordens de serviço de manutenção foram avaliadas em cada critério com o apoio das informações disponíveis e solicitadas à usina hidrelétrica, conforme apresentado no Apêndice B. Para melhor compressão, a Tabela 6.10 apresenta parte do banco de ordens de serviço e o desempenho dessas OSs avaliado em cada um dos quatro critérios.

Com as avaliações das OSs em relação aos quatro critérios definidos, decidiu-se por utilizar um método MCDM como ferramenta de suporte aplicável à priorização das ordens de serviço deste estudo de caso. Selecionou-se a Técnica para Ordem de Preferência por Semelhança com a Solução Ideal (do inglês, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, TOPSIS) devido a sua popularidade, consistência e rápida aplicação comparadas às de outros métodos MCDM (SIKSNELYTE et al., 2018). Além disso, a TOPSIS possui um princípio compreensível e é facilmente aplicável (KABIR; SADIQ; TESFAMARIAM, 2014). Essas características tornam a técnica atrativa para ser aplicada, por exemplo, na rotina de priorização de ordem de serviços por programadores de manutenção.

Tabela 6.10 – Ordens de serviço de manutenção avaliadas nos critérios de priorização

<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Local</b>	<b>Sistema</b>	<b>COSM</b>	<b>CAFA</b>	<b>TOSM</b>	<b>TAE</b>
00018102	Inspeção trienal externa do acumulador hidráulico ar-óleo	Preditiva	UG 01	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	7	8,21
00018186	Substituição de partes corroídas da grade de entrada de água	Corretiva	UG 01	Adução	7	6,02	5	7,70
00018425	Análise do óleo lubrificante do mancal do gerador combinado	Preditiva	UG 01	Mancal do gerador	1	2,99	7	7,42
00020396	Ajustar o sensor de nível da tampa da turbina	Corretiva	UG 01	Turbina	1	4,08	5	5,90
00021940	Trocar o óleo lubrificante do compressor 1 8 bar	Preventiva	EA	Ar comprimido	5	3,61	9	4,67
00022681	Balanceamento do rotor do exaustor 02	Preventiva	EA	Exaustão	3	1,09	9	4,16
00023346	Manutenção preventiva anual no compressor 1 64bar	Preventiva	EA	Ar comprimido	5	3,82	9	3,37
00024023	Análise termográfica nos painéis e relés da turbina	Preditiva	UG 01	Comando e automação	1	2,27	7	2,93
00024753	Análise termográfica do transformador elevador 7TR1	Preditiva	EA	Transformador elevador	1	5,80	7	2,08
00025128	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico da comporta de tomada de água 01	Preditiva	UG 01	Adução	1	4,47	7	1,95
00025749	Ajuste a posição da câmera de vigilância a jusante	Corretiva	EA	Sistema de vigilância	1	1,00	5	1,57
00025779	Filtrar óleo da unidade hidráulica	Preventiva	UG 01	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	9	1,51
00026091	Instalação de um acelerômetro para coleta de vibrações nas motobombas	Melhoria	UG 01	Mancal do gerador	5	2,99	1	1,09

Fonte: Autoria própria

Em síntese, a TOPSIS é um método compensatório multicritério de apoio à tomada de decisão desenvolvido por Hwang e Yoon na década de 80 e que funciona satisfatoriamente em diferentes áreas de aplicação (BEHZADIAN et al., 2012). O princípio da técnica consiste em determinar as alternativas que tenham a menor distância da solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (KAHRAMAN; ONAR; OZTAYSI, 2015). Essas distâncias são calculadas por meio da distância euclidiana num espaço  $m$ -dimensional, sendo  $m$  o número de critérios da análise de priorização.

A aplicação da TOPSIS baseou-se nas etapas apresentadas na literatura (HWANG; YOON, 1981; BEHZADIAN et al., 2012). Neste estudo de caso, dado que as avaliações em relação aos quatro critérios estão na mesma escala (1 a 9), não é necessário normalizar o desempenho das OSs em relação aos critérios. Logo, inicia-se a aplicação da TOPSIS com a criação da Matriz Ponderada por meio da multiplicação do peso relativo de cada critério ( $c_j$ ) pelo respectivo desempenho atribuído em cada critério para todas as  $n$  ordens de serviço da base de análise.

Dessa forma, sendo  $d_{ij}$  o desempenho atribuído para a OS  $i$  no critério  $j$ , tem-se que os desempenhos ponderados ( $dp$ ) da Matriz Ponderada são calculados conforme a Equação 6.1.

$$dp_{ij} = c_j * d_{ij}, \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.1)$$

A partir da Matriz Ponderada, estabelecem-se os vetores “melhor solução ideal” (MSI) e “pior solução ideal” (PSI) compostos, respectivamente, pelos melhores e piores desempenhos ponderados de cada critério. Em outras palavras, dado que nesta aplicação consideram-se quatro critérios de priorização, o vetor MSI é formado por quatro elementos que correspondem ao melhor desempenho ponderado em cada um dos critérios para a base de ordens de serviço. Já o vetor PSI é formado por quatro elementos que expressam o pior desempenho ponderado em cada um dos critérios para a mesma base de OSs.

Em seguida, obtém-se as distâncias de cada ordem de serviço aos vetores MSI e PSI por meio da distância euclidiana  $n$ -dimensional, respectivamente  $D_i^+$  e  $D_i^-$  usando as Equações 6.2 e 6.3.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (dp_{ij} - MSI_j)^2} \quad (6.2)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (dp_{ij} - PSI_j)^2} \quad (6.3)$$

Na sequência, calcula-se na TOPSIS o coeficiente de proximidade (CP), também conhecido como pontuação de desempenho, para cada ordem de serviço do conjunto de  $n$  ordens de serviço usando suas distâncias para a melhor solução ideal ( $D_i^+$ ) e para a pior solução ideal ( $D_i^-$ ), conforme Equação 6.4.

$$CP_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.4)$$

Finalmente, classificam-se as ordens de serviço por meio da ordem decrescente de CP. Em outras palavras, a ordem de serviço mais prioritária é aquela que apresenta o maior coeficiente de proximidade visto que está mais distante da PSI ao mesmo tempo em que mais se aproxima da MSI. O CP máximo é 1 e só é obtido quando a alternativa tem o melhor desempenho para todos os critérios. Por outro lado, se uma alternativa tiver os piores desempenhos em cada critério, ela terá um CP igual a 0 (HWANG; YOON, 1981).

A Tabela 6.11 apresenta o resultado da priorização das ordens de serviço de manutenção após a aplicação do TOPSIS, destacando as OSs de maior prioridade assim como as de menor prioridade. Já a classificação completa está exposta no Apêndice B. Pode-se observar que no topo da priorização destacam-se ordens de serviço preventivas e preditivas associadas a sistemas de alta criticidade. Isso é consistente com as preferências dos tomadores de decisão visto que CAFA e TOSM são os critérios mais relevantes na análise. Além disso, essas ordens de serviço de manutenção possuem baixo custo de execução. Por outro lado, as OSs na base da priorização estão associadas a sistemas de menor criticidade, a ações de melhoria, modificação ou corretivas. Ainda, essas OSs, em média, tiveram desempenho pior nos critérios COSM e TAE quando comparadas às OSs de maior prioridade.

Tabela 6.11 – OS de manutenção classificadas após a aplicação TOPSIS

<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Sistema</b>	<b>CP</b>	<b>Posição</b>
00022011	Inspeção elétrica do transformador elevador 7TR1	Transformador elevador	0,834	1
00021245	Análise cromatográfica do óleo isolante	Transformador elevador	0,827	2
00024753	Análise termográfica do transformador elevador 7TR1	Transformador elevador	0,814	3
00023094	Lubrifique os rolamentos do motor da bomba de hidrante	Sistema de combate a incêndio	0,790	4
00024762	Limpeza e regulagem do sensor indutivo da comporta de captação de água 02	Adução	0,756	5
00025136	Trocar o óleo lubrificante da unidade hidráulica das comportas	Adução	0,723	6
00024648	Manutenção preventiva na caixa de gaxeta da tampa da turbina	Turbina	0,703	7
00025128	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico da comporta de tomada de água 01	Adução	0,703	8
00025138	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico da comporta de tomada de água 02	Adução	0,703	9
00018656	Calibração do manômetro de pressão do acumulador de ar comprimido	Ar comprimido	0,691	10
...	...	...	...	...
00024283	Substitua o sensor de temperatura 3 do sistema de excitação	Sistema de excitação	0,381	67
00024681	Modificar a posição da bomba do motor regulador de velocidade 2	Sistema regulador de velocidade	0,329	68
00025749	Ajuste a posição da câmera de vigilância a jusante	Sistema de vigilância	0,313	69
00026091	Instalação de um acelerômetro para coleta de vibrações nas motobombas	Mancal do gerador	0,282	70
00025950	Instale o sistema de filtragem online para óleo lubrificante	Sistema regulador de velocidade	0,240	71

Fonte: Autoria própria

Com a conclusão da priorização das OSs de manutenção, retoma-se a sequência de atividades do processo “Executar”. Para as dez ordens de serviço mais prioritárias, não foi necessária a terceirização de execução nem estão associadas com mudanças, logo, as atividades “Elaborar ações para tratar os riscos não tolerados

associados à terceirização” e “Elaborar ações para tratar os riscos não tolerados associados às mudanças” não são aplicáveis.

Na sequência, avalia-se a necessidade de programação das ações priorizadas para iniciar a atividade “Programar as ações”. No contexto da usina, OSs de manutenção são sempre programadas com o suporte do Sistema Computadorizado de Gerenciamento de Manutenção (CMMS). Isso possibilita ao programador designar cada OS para a equipe de manutenção, considerando os recursos necessários tais como mão-de-obra e sobressalentes. Além disso, o CMMS permite que os técnicos de manutenção encerrem suas OSs após a execução, registrando, por exemplo, horas trabalhadas, materiais utilizados e comentários acerca da ação realizada. Essas informações são valiosas para o gerenciamento de manutenção visto que suportam as atividades do processo “Avaliar desempenho”.

Por fim, as OSs são executadas conforme programação, encerrando o processo “Executar” no evento final padrão. No entanto, cabe ressaltar que esse processo é reiniciado periodicamente conforme o evento de início temporal na representação do processo na Figura 5.4. Além disso, quando incidentes não desejados, riscos não tolerados e/ou oportunidades de melhoria são identificados durante a execução de ações de manutenção, pode-se encaminhar essas demandas para tratamento no processo “Melhorar” por meio do evento final do tipo mensagem.

## **6.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO**

Consecutivamente ao processo “Executar”, encontra-se o processo “Avaliar desempenho” em um dos fluxos de sequência expostos na proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos na Figura 5.1. Isso é pertinente uma vez que as informações documentadas durante a execução das ações e atividades de manutenção são utilizadas ao longo da avaliação de desempenho.

O processo “Avaliar desempenho” é composto por quatro eventos de início do tipo temporal, conforme exposto na Figura 5.5. Com isso, as sequências de atividades desse processo são acionadas com base nas periodicidades de avaliação de desempenho estabelecidas pela organização. Observa-se que o primeiro evento de início temporal conduz a avaliação de desempenho para os domínios do portfólio de ativos físicos e do gerenciamento de manutenção. Já os outros três eventos de início,



se aplicáveis à organização, conduzem a avaliação de desempenho para o domínio do sistema de gestão de ativos (SGA).

Quando os resultados das avaliações de desempenho são insatisfatórios, os fluxos de sequência deste processo conduzem a identificação de riscos não tolerados, incidentes para tratamento, não conformidades, e/ou necessidades de mudanças no SGA. Além disso, a organização pode identificar oportunidades de melhoria quando os resultados das avaliações forem satisfatórios. Todas essas saídas são comunicadas ao processo “Melhorar” por meio dos respectivos eventos finais do tipo mensagem.

Em relação às diretrizes de gestão de ativos dispostas na série ISO 55000, o processo “Avaliar desempenho” foi modelado considerando o elemento “Avaliação do desempenho” e seus requisitos (ABNT, 2014b). Logo, esse é o processo do ciclo de gerenciamento de manutenção em que a organização estabelece o monitoramento, medição, análise e avaliação de aspectos que podem comprometer o alcance dos objetivos estabelecidos no processo “Planejar”. Além disso, estabelecem-se atividades específicas para a avaliação do sistema de gestão de ativos, caso implementado na organização. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55002:2020, a avaliação de desempenho do portfólio de ativos, da gestão de ativos e do sistema de gestão de ativos são entradas fundamentais e gatilho para qualquer processo de melhoria (ABNT, 2020).

A demonstração deste processo limitou-se aos domínios de avaliações dos ativos físicos e do gerenciamento de manutenção, acionadas conforme periodicidade mensal pelo primeiro evento de início temporal. Os outros três eventos de início não são demonstrados visto que a usina hidrelétrica não possui um sistema de gestão de ativos implementado. Dessa forma, as atividades “Avaliar a gestão de oportunidades e riscos para o sistema de gestão de ativos”, “Conduzir auditoria interna para o sistema de gestão de ativos”, e “Analisar criticamente o sistema de gestão de ativos” não são aplicáveis a este estudo de caso.

Ao realizar atividades “Avaliar desempenho dos ativos físicos” e “Avaliar desempenho do gerenciamento de manutenção”, a organização estabelece o que precisa ser monitorado e medido considerando os objetivos estabelecidos no processo “Planejar”. Isso assegura que haja um alinhamento entre os indicadores de desempenhos e os objetivos estabelecidos para o portfólio de ativos físicos e para o gerenciamento de manutenção. Dessa forma, a partir dos objetivos do gerenciamento

de manutenção apresentados na Tabela 6.6 na Seção 6.3, pôde-se derivar indicadores de desempenho de manutenção específicos para a avaliação de desempenho conforme exposto na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Desdobramento dos indicadores de desempenho de manutenção

<b>Objetivos estratégicos</b>	<b>Objetivos do gerenciamento de manutenção</b>	<b>Indicador de desempenho de manutenção</b>
Eliminar acidentes fatais de funcionários e prestadores de serviço	Engajar a manutenção com a cultura de saúde e segurança da organização	Cumprimento do plano de treinamento de saúde e segurança
	Tratar os riscos de segurança associados ao ativo físico com atividades de manutenção	Cumprimento dos protocolos de segurança para atividades de manutenção
		Cumprimento dos planos de manutenção
	Número de acidentes associados com ativos físicos	
Reduzir vulnerabilidade dos clientes	Garantir que o equipamento esteja disponível e confiável para operação	Taxa de falha média dos ativos A
	Reduzir as falhas recorrentes	Índice de saúde dos ativos
		Cumprimento das análises de causa raiz
	Reparar os ativos físicos sem atrasos para operação	Horas de manutenção excedidas
	Investir capital em projetos de manutenção com maior retorno de disponibilidade	Tempo de retorno do investimento
		Cumprimento das ações de manutenção do plano de satisfação de clientes
Eliminar acidentes e multas ambientais	Prevenir impactos ambientais negativos nas atividades de manutenção	Tempo de inatividade devido parada emergencial de manutenção
		Cumprimento do plano de treinamento de prevenção de impacto ambientais
	Prevenir impactos ambientais negativos com atividades de manutenção	Número de melhorias ambientais na manutenção
		Cumprimento das ações de manutenção do plano ambiental
Desenvolver as pessoas	Identificar e desenvolver conhecimentos técnicos e habilidades necessários na equipe de manutenção	Cumprimento do plano de treinamento técnico da manutenção
		Elaboração do plano de desenvolvimento individual da equipe de manutenção

Cabe ressaltar que os indicadores apresentados na Tabela 6.12 são apenas exemplos que podem ser definidos a partir dos objetivos listados, mas essa relação não se limita a esses indicadores. Cabe também destacar que a definição dos indicadores acontece, geralmente, durante a implementação da estrutura proposta, ou seja, durante a realização do primeiro ciclo da estrutura. Além disso, visto que os indicadores de desempenho de manutenção são derivados dos objetivos do gerenciamento de manutenção que, por sua vez, estão alinhados com os objetivos estratégicos da organização, pode-se monitorar a contribuição do gerenciamento de manutenção para o alcance dos objetivos da organização.

Em seguida, para cada indicador de desempenho estabelecido, define-se uma meta com base nas metas dos objetivos estratégicos e nas expectativas das partes interessadas. Além disso, recomenda-se que a organização expresse formalmente como esses indicadores são calculados, as responsabilidades e a periodicidade da avaliação. Dessa forma, a Tabela 6.13 demonstra, a partir de alguns dos indicadores de gerenciamento de manutenção da Tabela 6.12, como esses indicadores poderiam ser comunicados dentro da organização com a descrição completa.

Com os indicadores definidos, a organização pode avaliar o desempenho dos ativos físicos e do gerenciamento de manutenção com base na periodicidade de início do processo “Avaliar desempenho”, respeitando também a periodicidade de cálculo de cada indicador. Em outras palavras, por exemplo, o evento de início temporal é mensal, mas nem todos os indicadores definidos possuem essa frequência. Na sequência, o fluxo de atividades deste processo conduz a uma decisão acerca da necessidade de tratar os resultados insatisfatórios, ou seja, aqueles que não atingiram a meta. Logo, essa é uma decisão consequente e dependente dos resultados obtidos nas atividades de avaliação de desempenho que a antecedem.

Caso os resultados tenham sido conforme as expectativas da organização, não é necessário tratar os resultados insatisfatórios. Ainda assim, neste fluxo, pode ser pertinente que o gerenciamento de manutenção identifique oportunidades para melhoria durante as avaliações de desempenho. Caso também não seja necessário, encerra-se o processo “Avaliar desempenho” no evento final padrão. Já quando um ou mais indicadores tiveram seus resultados abaixo da meta, é necessário tratar esses resultados insatisfatórios. Para tal, comunica-se o processo “Melhorar” acerca dessas demandas, conforme um dos possíveis eventos finais do tipo mensagem.

Tabela 6.13 – Exemplo de descrição completa para comunicação dos indicadores de gerenciamento de manutenção

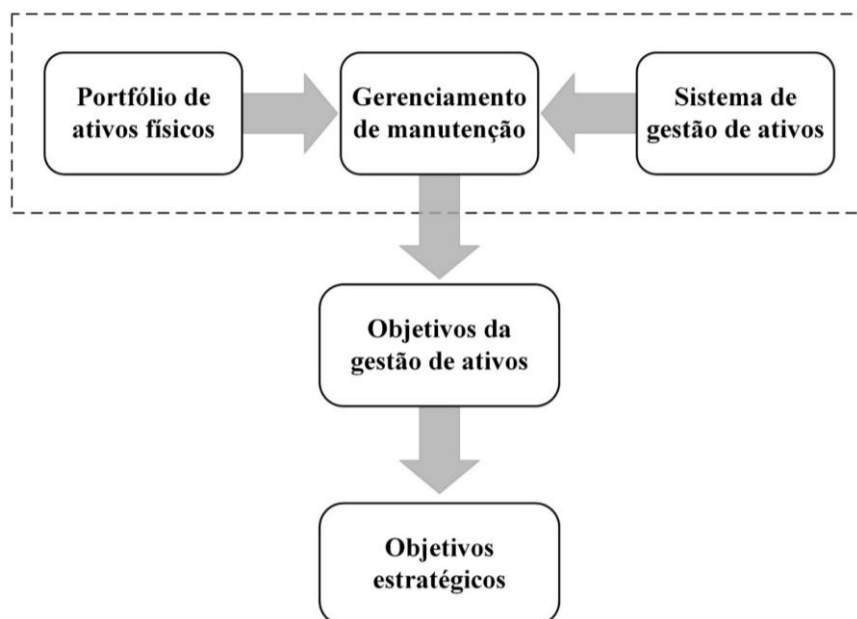
Indicador	Domínio	Descrição	Cálculo	Meta	Periodicidade	Responsabilidade
Cumprimento do plano de treinamento de saúde e segurança	II. gerenciamento de manutenção	A proporção do plano de treinamento em saúde e segurança concluído (%)	Número de treinamentos de saúde e segurança concluídos dividido pelo total de treinamentos	100%	Semestral	Engenheiro da usina
Índice de saúde dos ativos	I. portfólio de ativos	A proporção dos ativos físicos monitorados em condições normais (%)	Número de ativos físicos monitorados em condição normal dividido pelo total de ativos monitorados	> 90%	Mensal	Engenheiro da usina
Taxa de falha Média dos ativos físicos A	I. portfólio de ativos	A taxa média de falha para o portfólio de ativos físicos A (un/h)	Somatório das falhas do portfólio de ativos A dividido pelo somatório de horas operadas	< 5E-5	Semestral	Engenheiro da usina
Tempo de retorno do investimento	II. gerenciamento de manutenção	A relação entre o investimento de manutenção e o retorno anual (anos)	Montante investido pela manutenção dividido pelo retorno anual estimado	< 5 anos	Semestral	Engenheiro da usina
Tempo de inatividade devido parada emergencial de manutenção	II. gerenciamento de manutenção	A proporção de horas de parada emergencial de manutenção (%)	Horas indisponíveis devido parada emergencial de manutenção dividido sobre o total de horas planejadas de operação	< 2%	Mensal	Engenheiro da usina
Cumprimento das ações de manutenção do plano ambiental	II. gerenciamento de manutenção	A proporção das ações de manutenção do plano ambiental concluídas (%)	Número de ações planejadas concluídas dividido pelo total de ações planejadas	> 95%	Mensal	Engenheiro da usina e técnico de segurança

Fonte: Autoria própria

Cabe destacar que a medição, monitoramento, análise e avaliação do desempenho para o portfólio de ativos físicos contribuem para estabelecer um processo de melhoria de desempenho dos ativos físicos. Isso colabora para melhores resultados no gerenciamento de manutenção que também são medidos, monitorados, analisados e avaliados. Ainda, o desempenho do sistema de gestão de ativos também pode impactar positivamente os resultados do gerenciamento de manutenção visto que suporta todos os estágios do ciclo de vida dos ativos.

Para melhor compreensão entre essas relações, representou-se por meio da Figura 6.5 como esses domínios estão relacionados e colaboram para o alcance dos objetivos da gestão de ativos, que por sua vez contribuem para os resultados relativos aos objetivos estratégicos da organização.

Figura 6.5 – Relação entre os domínios de avaliação de desempenho



Fonte: Autoria própria

Por fim, embora não seja aplicável para esse estudo de caso, convém que a avaliação de desempenho por meio de auditorias internas forneça informações sobre a implementação efetiva do sistema de gestão de ativos (SGA), incluindo informações sobre a aderência aos fundamentos e requisitos estabelecidos pela série ISO 55000 para gestão de ativos. Já para as atividades “Avaliar a gestão de oportunidades e riscos para o sistema de gestão de ativos” e “Analisar criticamente o sistema de gestão de ativos”, convém que sejam realizadas pela alta direção, ou seja, pelas pessoas que

dirigem e controlam uma organização em seu nível mais alto (ABNT, 2020). Essas três atividades permitem que sejam avaliadas a conformidade, a adequação e a eficácia do SGA e suas saídas podem incluir diferentes demandas para o processo “Melhorar”.

## **6.6 MELHORIA DO GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO**

O último processo do ciclo da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos é o “Melhorar”. Em outras palavras, as saídas deste processo realimentam os processos já apresentados “Definir escopo”, “Planejar” e/ou “Executar”, conforme exposto na Figura 5.1. Assim, conforme pertinência, esses três processos podem ser reiniciados por meio de um evento de início do tipo mensagem cuja a origem é o processo “Melhorar”.

Esse processo é composto por cinco eventos de início do tipo mensagem, conforme representado na Figura 5.6. Com isso, as sequências de atividades deste processo somente são acionadas mediante o recebimento de comunicações que informam os responsáveis pelo processo acerca das demandas de tratamento pelo processo de melhoria. Essas entradas podem ser resultados tanto do processo “Executar” quanto do processo “Avaliar desempenho” como representado na estrutura proposta em seu nível mais geral na Figura 5.1 e discutido nas seções 6.4 e 6.5.

Comunicações de incidentes indesejados e não conformidades iniciam o processo pelas atividades “Elaborar ações para controlar e corrigir” e/ou “Elaborar ações para tratar as consequências”. Já para as necessidades de mudanças no sistema de gestão de ativos, elaboram-se ações para tratar essas demandas e, na sequência, segue-se o mesmo fluxo dos incidentes indesejados e não conformidades. Para esses três eventos de início, avalia-se a necessidade de investigar as causas dessas ocorrências. Se aplicável, analisam-se as causas e elaboram-se ações para tratar as causas raízes.

As comunicações das oportunidades de melhoria e dos riscos não tolerados possuem fluxos simplificados. Após elaborar as ações para cada uma dessas demandas, segue-se para a tomada de decisão referente a qual processo encaminhar as ações. Todas as ações elaboradas no processo de melhoria podem ser encaminhadas para o planejamento de manutenção, execução de manutenção e/ou

revisão do escopo da estrutura de gerenciamento de manutenção, conforme os três respectivos eventos finais do tipo mensagem.

Em relação às diretrizes de gestão de ativos dispostas na série ISO 55000, esse último processo foi modelado considerando o elemento “Melhoria” e seus requisitos (ABNT, 2014b). Segundo as diretrizes da norma ABNT NBR ISO 55002:2020, convém que a melhoria seja considerada uma atividade iterativa e contínua, com o objetivo final de cumprir os objetivos organizacionais (ABNT, 2020). Dessa forma, na estrutura proposta, o processo “Melhorar” é constantemente reiniciado conforme as demandas comunicadas e originadas, periodicamente, a partir dos processos de execução e avaliação de desempenho de manutenção.

Para a demonstração deste processo a partir do contexto deste estudo de caso, selecionou-se um incidente ocorrido na usina hidrelétrica para a tratamento conforme a sequência de atividades do evento de início “incidentes para tratamento”. Todavia, cabe destacar que outras ocorrências também são aplicáveis para demonstrar o processo por meio dos outros eventos de início, com exceção das “necessidades de mudanças no SGA” visto que a usina não possui um sistema de gestão de ativos implementado. Para melhor compreensão, a Tabela 6.14 apresenta outros exemplos de eventos que, caso comunicados, também poderiam iniciar o processo “Melhorar”.

Observa-se por meio da Tabela 6.14 que as notificações para o acionamento do processo de melhoria podem ter diferentes origens e tipos. Geralmente, os técnicos de manutenção são a principal fonte de incidentes indesejados relacionados a falhas inesperadas dos ativos físicos, falta de peças sobressalentes, retrabalhos de manutenção e/ou falta de recursos. Por outro lado, os operadores e líderes de operação geralmente relatam atrasos e erros de manutenção. Em relação às oportunidades de melhorias relacionadas à execução da manutenção, os técnicos de manutenção geralmente identificam sugestões técnicas e alterações em máquinas, ferramentas e *layout*, enquanto os líderes de manutenção se concentram nas oportunidades para os procedimentos, planos de manutenção e sistemas de suporte. Já as notificações decorrentes do processo de avaliação de desempenho costumam ser notificadas pelas lideranças de manutenção.

O incidente indesejado selecionado como exemplo para acionar o processo “Melhorar” foi um desligamento automático da unidade geradora 01 (UG 01) que foi comunicado ao gerenciamento de manutenção. Esses desligamentos ocorrem, por exemplo, quando uma falha inesperada ocorre nos ativos físicos da unidade geradora,

fazendo com que a geração de energia seja interrompida automaticamente por sistemas de segurança. De acordo com a sequência de atividades do evento de início “incidentes para tratamento”, a manutenção precisa reagir a este incidente elaborando ações para controlá-lo e corrigi-lo e/ou para lidar com suas consequências.

Tabela 6.14 – Exemplos de eventos que podem acionar o processo “Melhorar”

<b>Origem</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Exemplos de eventos de manutenção</b>
Execução de manutenção	Incidentes indesejados para tratamento	Falhas inesperadas dos ativos físicos, retrabalho de manutenção, falta de peça de reposição para manutenção planejada, falta de recursos e erros ou atrasos de execução de manutenção
	Riscos não tolerados	Proteções de segurança ausentes ou danificadas, proteções contra impacto ambientais ausentes ou danificados e condições não seguras para os ativos físicos ou para execução de manutenção
	Oportunidades de melhoria	Sugestões de mudanças técnicas tais como nos procedimentos de manutenção, <i>layout</i> , planos de manutenção
Avaliação de desempenho de manutenção	Incidentes indesejados para tratamento	Falta de informações para indicadores de desempenho, erros de sistema e recorrência de baixo desempenho, ações tomadas sem eficácia para o desempenho de manutenção
	Não conformidades	Indicadores de desempenho de manutenção abaixo das metas, não conformidades para o gerenciamento de manutenção de quaisquer auditorias internas e externas
	Riscos não tolerados	Ineficiência de um processo; sistemas de tecnologia que não suportam os processos adequadamente, questões regulatórias não atendidas, competências de pessoas-chave insuficientes, redução de fluxo de orçamento
	Oportunidades de melhoria	Novas tecnologias, ferramentas, software e treinamentos para as atividades do gerenciamento de manutenção

Fonte: Autoria própria

Nesse sentido, técnicos de manutenção foram chamados para controlar e corrigir o incidente diante da ocorrência. Foi identificado através dos parâmetros de monitoramento operacional que o desligamento automático foi devido à perda de potência no UG 01. Entre as ações elaboradas estavam a desobstrução das grades de adução por meio da limpeza (ação 1) e a verificação do acionamento dos sistemas



de segurança associados ao desligamento automático (ação 2). Além disso, foi elaborada uma ação para reiniciar (*reset*) as condições da unidade geradora para retorno à operação (*restart*) (ação 3).

Em seguida, o fluxo de sequência do processo “Melhorar” é dividido por meio de um portão (*gateway*) inclusivo após a elaboração dessas atividades. Como um portão inclusivo é considerado independente, todas as combinações de caminhos podem ser tomadas, criando sequências alternativas, mas também paralelas (OMG, 2011). Conforme modelado no processo, o fluxo superior é sempre necessário, enquanto que o segundo fluxo, aquele que conduz às atividades de análise de causas, depende de uma avaliação de pertinência desse fluxo para incidente indesejado, não conformidade e/ou necessidade de mudanças no SGA.

Dessa forma, as ações elaboradas (ações 1, 2 e 3) seguiram pelo fluxo superior para o portal de decisão final, onde essas ações poderiam ser encaminhadas para os processos “Planejar”, “Executar” e/ou “Definir escopo”. Para este incidente, todas as três ações foram enviadas para execução de manutenção devido à natureza emergencial do incidente encerrando a sequência de atividades por este caminho de fluxo superior. Em paralelo, avaliou-se a aplicabilidade do segundo fluxo que conduz às atividades “Analisar as causas” e “Elaborar ações para tratar as causas raízes”.

Embora analisar as causas seja de grande importância, a organização pode estipular quando essa atividade será realizada e quais incidentes priorizar devido aos recursos limitados e demanda. Essa tomada de decisão pode ser suportada com o estabelecimento de uma política de análise de causa raiz. Embora a usina hidrelétrica deste estudo de caso não possua uma política de análise de causa raiz bem estruturada e formalizada, a recomendação geral é que todas os desligamentos automáticos e/ou de emergência das unidade geradoras tenham suas causas analisadas de forma a evitar recorrências. Para melhor compreensão, a Tabela 6.15 demonstra a definição de diretrizes expressas em uma política de análise de causa raiz para o contexto da unidade.

Diante deste exemplo de incidente indesejado, o segundo fluxo também foi ativado por se tratar de um desligamento automático que afetou diretamente a disponibilidade na geração de energia da usina. Assim, após a organização ter restabelecido a operação quase 8 horas após a ocorrência do incidente por meio da conclusão das três ações enviadas para execução, a liderança de manutenção conduziu a atividade “Analisar causas”.

Tabela 6.15 – Exemplo de diretrizes na política de análise de causa raiz

Evento	Gatilho	Impacto	Analisar?	Ferramenta
Incidente indesejado para tratamento	Desligamentos automáticos ou de emergência da UG	Menor que 2 horas	Sim	5 Porquês
		Entre 2 e 10 horas	Sim	Diagrama de Ishikawa
		Maior que 10 horas	Sim	Árvore de causas
	Tempo de indisponibilidade devido a falha inesperada	Menor que 4 horas	Avaliar	-
		Entre 4 e 10 horas	Sim	5 Porquês
		Maior que 10 horas	Sim	Árvore de causas
	Tempo de indisponibilidade devido atraso de manutenção	Menor que 1 hora	Avaliar	-
		Entre 1 e 3 horas	Sim	5 Porquês
		Maior que 3 horas	Sim	Diagrama de Ishikawa
Não conformidade de manutenção	Indicador de desempenho de manutenção abaixo da meta	Menor que 2%	Sim	5 Porquês
		Entre 2 e 15%	Sim	Diagrama de Ishikawa
		Maior que 15%	Sim	Árvore de causas

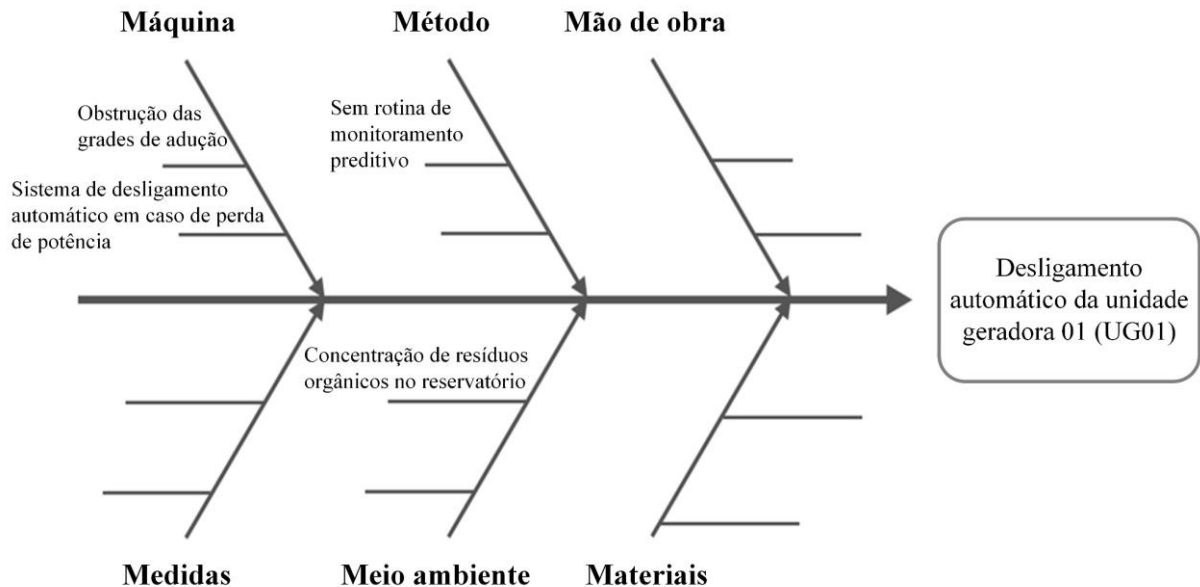
Fonte: Autoria própria

A usina hidrelétrica tem como ferramenta padrão para análise de causa raiz o Diagrama de causa e efeito, também conhecido por Diagrama de Ishikawa. Segundo Sokovic et al. (2009), o diagrama foi introduzido por Kaoru Ishikawa nos anos 50 como uma das ferramentas básicas de controle da qualidade. Ao longo dos anos, a técnica foi aplicada a incidentes além daqueles de qualidade para identificar as causas raízes e prevenir recorrências. A partir do problema definido, a ferramenta permite ao usuário explorar as causas do problema em seis categorias diferentes, como máquina, método, mão de obra, medidas, meio ambiente e materiais. Embora seja mais adequado para problemas simples, o diagrama de causa e efeito é a ferramenta mais comum usada na indústria para análise de causas (DUPHILY, 2014).

A demonstração do uso do Diagrama de causa e efeito para o estudo de caso foi representado na Figura 6.6. A partir da análise, ficou evidente que o entupimento das grades de adução para tomada de água da unidade geradora levou a uma redução de potência na UG 01. Isso ocorre, por exemplo, devido ao desmatamento que produz resíduos orgânicos, como o capim, que são transportados pelo rio até o reservatório da usina hidrelétrica. O entupimento dessas grades é um processo

gradual e é compensado pelo sistema de regulagem de velocidade. Porém, quando isso não for mais possível e afetar as condições seguras de operação, aciona-se um sistema de proteção que desliga automaticamente a unidade geradora para evitar maiores impactos.

Figura 6.6 – Aplicação do Diagrama causa e efeito para análise de causas



Fonte: Autoria própria

Na Figura 6.6, representou-se o conjunto de causas determinantes para o incidente por meio do Diagrama de Ishikawa. Cabe ressaltar que outras causas foram investigadas e descartadas durante a atividade de ‘Analisar as causas’. Na sequência, a próxima atividade do fluxo é “Elaborar ações para tratar as causas raízes”. Assim, outras duas ações foram propostas: Estabelecer rotina de limpeza das grades de adução quando houver queda da potência a um nível inferior de 40MW (ação 4) e automatizar o sistema de limpeza das grades de adução (ação 5). Em seguida, ambas ações foram encaminhadas para o planejamento de manutenção, encerrando a sequência de atividades do segundo fluxo originado no portão de decisão.

As cinco ações elaboradas a partir do acionamento do processo “Melhorar” pelo incidente relacionado ao desligamento automático da unidade geradora 01 podem ser classificadas em três categorias: corretivas, preventivas ou imediatas. Segundo a norma ABNT NBR ISO 55000:2014, ação corretiva é aquela que elimina a causa de uma não conformidade ou incidente indesejado e, conseqüentemente, evita

sua recorrência. Já a ação preventiva é uma ação realizada para prevenir a ocorrência desses eventos enquanto o sistema está funcionalmente disponível (ABNT, 2014a). Por sua vez, a ação imediata é aquela tomada o mais rápido possível após observar o incidente indesejado e/ou não conformidade para corrigir e/ou controlar esses eventos ou, ainda, para tratar suas consequências. Logo, pode-se se dizer que as ações 1, 2 e 3 são imediatas, a ação 4 é preventiva e a ação 5 é corretiva.

Por fim, cabe destacar que a partir do incidente indesejado selecionado para a demonstração do processo “Melhorar”, percorreu-se todas os fluxos de sequências de atividades do processo. Em outras palavras, não é necessário demonstrar o processo por meio de outro tipo de evento de entrada visto que as atividades são análogas e/ou já foram demonstradas nesta seção. Assim, ao ser novamente notificado sobre um dos cinco tipos de eventos de início, o processo de melhoria do gerenciamento de manutenção é reiniciado. Esse esforço contínuo para tratar os eventos relacionados com o gerenciamento de manutenção que impactaram negativamente a organização, bem como as oportunidades de melhoria identificadas, contribui para a evolução da manutenção na direção de melhores resultados da gestão de ativos.

## **6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICABILIDADE DA ESTRUTURA PROPOSTA**

As seções anteriores deste capítulo foram concebidas com o propósito de avaliar a aplicabilidade da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Por meio de um estudo de caso, as seções anteriores discutiram e demonstraram os processos da estrutura considerando o contexto operacional e as informações coletadas de uma usina hidrelétrica. Nesta seção, portanto, destacam-se algumas considerações acerca da aplicação e dos resultados obtidos pelo estudo de caso.

Inicialmente, apresentou-se a usina hidrelétrica que foi utilizada como objeto deste estudo de caso na Seção 6.1. A escolha de uma usina hidrelétrica como escopo desta etapa é de suma relevância visto que o setor elétrico é um exemplo de indústria de ativos intensivos (*asset-intensive industry*) em que o desempenho da gestão de ativos é fundamental. Isso é reiterado pela liderança do setor no número de empresas certificadas na série ISO 55000 ao redor do mundo (ISO, 2022).

Na sequência, destacaram-se os processos de coleta de dados que forneceram informações e documentos para a compreensão do contexto do gerenciamento de manutenção da unidade e para a demonstração dos processos da estrutura proposta nas seções 6.2 a 6.6. Por fim, os resultados dessas etapas contribuíram para elaborar as considerações desta seção.

A partir das informações coletadas, constatou-se que a usina hidrelétrica selecionada não apresentava um grau de maturidade elevado em relação às diretrizes de gestão de ativos. Isso se reflete nos processos e atividades implementados para o gerenciamento de manutenção na unidade. Muitas das atividades dispostas na estrutura proposta não eram praticadas no contexto real da usina, porém foi possível demonstrá-las a partir das informações disponíveis. Isso corrobora a aplicabilidade da estrutura uma vez que sugere que a organização pode alinhar seu gerenciamento de manutenção conforme a estrutura proposta.

A abordagem genérica utilizada na modelagem da estrutura proposta permite a escolha de ferramentas mais alinhadas com o contexto da organização durante a implementação de atividades e processos do gerenciamento de manutenção. Essa abordagem também contribui para a aplicabilidade da estrutura proposta para outras organizações além do setor hidrelétrico visto que as atividades e processos dispostos não são específicos. No entanto, cabe ressaltar que essa abordagem implica na necessidade de conhecimento técnico acerca das ferramentas de suporte por parte da organização para a implementação da estrutura proposta. Neste estudo de caso, utilizou-se a relação de ferramentas aplicáveis à implementação da estrutura proposta da seção 5.2 como referência, combinada ao contexto da usina hidrelétrica, para viabilizar as demonstrações dos processos.

O comportamento cíclico modelado na estrutura proposta também pôde ser melhor compreendido a partir dos resultados deste estudo de caso. As demonstrações dos processos nas seções anteriores abordaram as diferentes entradas e saídas assim como as relações entre os processos. Isso colaborou para o entendimento do ciclo do gerenciamento de manutenção na prática, ressaltando a retroalimentação de processo por eventos de início do tipo mensagem e/ou temporal e reforçando a aplicabilidade da estrutura proposta. Ainda, vale mencionar que isso foi facilitado pelas considerações de modelagem da proposta de estrutura em mais de um nível hierárquico e o por meio do uso de uma linguagem padronizada.

Por fim, este estudo de caso ainda contribuiu para a literatura de gerenciamento de manutenção pois fornece uma abordagem prática da estrutura proposta. Nenhuma das estruturas originais para gerenciamento de manutenção identificadas na revisão integrativa na Seção 4.1 foi discutida além da teoria. Isso contribui para a sua aplicabilidade e para o entendimento do seu funcionamento em um contexto real. Dessa forma, destaca-se que os resultados deste estudo de caso corroboram a aplicabilidade da estrutura proposta não somente para o contexto da usina hidrelétrica desta pesquisa, mas sugerindo a replicabilidade também a outras organizações.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dedica-se este capítulo à apresentação das considerações finais referentes ao desenvolvimento desta pesquisa em três partes. Na primeira seção, elaboram-se as conclusões da pesquisa considerando os seus objetivos e os resultados alcançados por meio de sua metodologia. Na sequência, apresentam-se recomendações para trabalhos futuros. Por fim, discutem-se as publicações que foram derivadas do escopo desta pesquisa e desenvolvidas durante seu cronograma.

### **7.1 CONCLUSÕES**

Embora a disciplina de gestão de ativos represente um novo paradigma para o gerenciamento de manutenção, o assunto é ainda pouco explorado na comunidade científica. Além disso, as diretrizes elaboradas por meio de cooperação internacional sobre o assunto, a exemplo da série de normas ISO 55000, fornecem requisitos genéricos que são aplicáveis a todos os estágios do ciclo de vida dos ativos e que apenas expressam o que precisa ser feito, mas não como fazer. Isso exige um maior esforço por parte das organizações ao mesmo tempo que impõem barreiras na compreensão que distanciam os profissionais de manutenção dos benefícios da gestão de ativos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a elaboração de uma estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Assim, a estrutura proposta considerou o alinhamento entre as diretrizes de gestão de ativos e o estágio de manutenção no ciclo de vida dos ativos físicos. Para tal, a modelagem da estrutura proposta baseou-se nos resultados de duas revisões integrativas da literatura a fim de considerar um conjunto único de características e contribuir para o avanço da literatura da área. Por fim, por meio de um estudo de caso, avaliou-se a aplicabilidade da estrutura proposta a partir de um contexto de uma usina hidrelétrica.

De modo geral, as revisões integrativas da literatura foram concebidas com o propósito de embasar o desenvolvimento da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. A primeira revisão integrativa teve como escopo as estruturas de gerenciamento de manutenção. Identificaram-se apenas 17 trabalhos que abordaram estruturas originais de gerenciamento de

manutenção na literatura. Quando comparadas, em sua grande maioria essas estruturas não utilizaram uma linguagem padronizada de modelagem, não consideraram a disciplina de gestão de ativos e não foram representadas em mais de um nível hierárquico de detalhamento.

Já a segunda revisão integrativa identificou as diretrizes para a gestão de ativos que têm suportado as pesquisas que abordam essa disciplina no contexto do gerenciamento de manutenção. A comparação das características intrínsecas das 11 diretrizes identificadas na literatura destacou a relevância atual da série internacional de normas ISO 55000 em relação às demais diretrizes. Cabe destacar, por exemplo, que a norma ABNT NBR ISO 55001:2014 é a única diretriz vigente que especifica requisitos, traz um contexto genérico, é passível de certificação e está disponível traduzida para o português no território nacional.

A partir das duas revisões integrativas, definiram-se 12 considerações a serem seguidas durante a modelagem da estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos. Como resultado, a estrutura proposta é original, de abordagem cíclica e genérica, modelada com o uso do BPMN como uma linguagem gráfica padronizada para modelagem de processo, possui mais de um nível hierárquico de detalhamento e contempla os principais elementos identificados nas estruturas de gerenciamento de manutenção da literatura. Além disso, a estrutura está alinhada com a disciplina de gestão de ativos e considera os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014 para modelar os processos e atividades do gerenciamento de manutenção.

Em síntese, a proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos possui dois níveis de detalhamento. No nível 0, representou-se o gerenciamento de manutenção por meio de cinco processos principais: “Definir escopo”, “Planejar”, “Executar”, “Avaliar desempenho” e “Melhorar”. Em seguida, cada um desses processos principais foi detalhado em um nível inferior da estrutura (níveis 1.1 a 1.5). Assim, por meio desses níveis, foram apresentadas as atividades que integram cada um dos processos principais do gerenciamento de manutenção.

Em seguida, a aplicabilidade da estrutura proposta foi avaliada por meio de um estudo de caso para uma usina hidrelétrica. A partir do entendimento da organização e da coleta e registro de dados, demonstraram-se os processos e atividades da estrutura proposta considerando o contexto do gerenciamento de manutenção da unidade. Essa etapa prática corroborou a aplicabilidade da estrutura proposta para



um contexto operacional real assim como contribuiu para seu melhor entendimento. Cabe ressaltar que esse estudo de caso também é um diferencial entre os trabalhos da literatura que abordam estruturas de gerenciamento de manutenção visto que, geralmente, apenas discutem-se as propostas de estruturas na teoria.

Dessa forma, este trabalho contribui para os campos de pesquisa de gestão de ativos e do gerenciamento de manutenção por vários motivos. Primeiramente, a pesquisa fornece uma visão geral do gerenciamento de manutenção no contexto da gestão de ativos. Por meio de revisões integrativas da literatura, identificam-se e comparam-se estruturas de gerenciamento de manutenção e diretrizes para a gestão de ativos. Ademais, compõe-se e descreve-se uma proposta original de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Ainda, esta pesquisa compila ferramentas quantitativas e qualitativas que podem apoiar a implementação da estrutura proposta. Finalmente, avalia-se a sua aplicabilidade por meio de um estudo de caso que demonstra os processos da estrutura proposta na prática.

Embora esses resultados evidenciem o alcance dos objetivos da pesquisa e respondem aos questionamentos estabelecidos, vale destacar algumas limitações. Uma vez que a estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos traz uma abordagem detalhada, porém genérica, contribuindo para a replicação em diferentes contextos, exige-se da organização comprometimento e preparação para a sua implementação. Ainda, a avaliação da sua aplicabilidade foi realizada para uma organização de setor específico. Esses pontos, inclusive, são recomendações para serem abordados em trabalhos futuros.

Por fim, destaca-se que os resultados da pesquisa podem contribuir para auxiliar profissionais e pesquisadores de manutenção na compreensão e na difusão de uma estrutura de gerenciamento de manutenção original que esteja alinhado com as diretrizes internacionais da gestão de ativos. Essa pesquisa pretendeu preencher uma lacuna presente na literatura de gerenciamento de manutenção visto que aborda a disciplina de gestão de ativos, assim como a série ISO 55000, em profundidade. Além disso, a estrutura proposta foi modelada por meio de uma combinação única de características que contribuem para avanços na literatura de estrutura de gerenciamento de manutenção.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A conclusão dessa pesquisa também permitiu identificar recomendações para trabalhos futuros. Como uma oportunidade direta, sugere-se a implementação da estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos em um contexto operacional real a fim de discutir, por exemplo, os benefícios alcançados, as dificuldades e as orientações para a sua implantação.

Além disso, recomenda-se outros temas de oportunidade como extensão desse trabalho, conforme listados a seguir:

- Avaliar a aplicabilidade da estrutura proposta às indústrias de diferentes setores a fim de comparar os resultados e discutir as particularidades de cada contexto;
- Elaborar diretrizes em formato de guia para a implementação da estrutura proposta nas organizações;
- Desenvolver ferramentas para atender as principais atividades propostas na estrutura de gerenciamento de manutenção para gestão de ativos físicos;
- Discutir em mais detalhes as interfaces e influências da estrutura proposta com outros estágios do ciclo de vida dos ativos físicos;
- Desdobrar as diretrizes da gestão de ativos para a tomada de decisão no estágio de descomissionamento do ciclo de vida dos ativos físicos;
- Discutir as interfaces das séries ISO 55000 para gestão de ativos e ISO 41000 para gestão de instalações (*facility management*) no contexto da estrutura proposta para gerenciamento de manutenção;
- Discutir a adequação da estrutura proposta no âmbito da gestão integrada com outros sistemas de gestão.

## 7.3 PUBLICAÇÕES DERIVADAS DA PESQUISA

Apresentam-se, nesta última seção, as publicações que foram derivadas do escopo desta pesquisa e desenvolvidas durante seu cronograma na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Publicações derivadas do escopo da pesquisa

<b>n.</b>	<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Local</b>	<b>Situação</b>
1	da Silva, R.F. et al. (2019)	Defining maintenance significant items based on ISO 55000 and AHP: A hydropower plant case study	29 <sup>th</sup> European Safety and Reliability Conference	Publicado
2	da Silva, R.F. et al. (2020)	Defining maintenance performance indicators for asset management based on ISO 55000 and Balanced Scorecard: A hydropower plant case study	30 <sup>th</sup> European Safety and Reliability Conference	Publicado
3	da Silva, R.F.; de Souza, G.F.M. (2020)	Asset management system (ISO 55001) and Total Productive Maintenance (TPM): a discussion of interfaces for maintenance management	Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas (GEPROS)	Publicado
4	da Silva, R.F.; de Souza, G.F.M. (2021)	Mapping the literature on asset management: a bibliometric analysis	Journal of Scientometrics Research	Publicado
5	da Silva, R.F.; de Souza, G.F.M. (2021)	A maintenance management improvement framework for asset management	15 <sup>th</sup> World Congress on Engineering Asset Management	Publicado
6	da Silva, R.F.; de Souza, G.F.M. (2021)	Modeling a maintenance management framework for asset management based on ISO 55000 series guidelines	Journal of Quality in Maintenance Engineering	Publicado
7	de Souza, G.F.M. et al. (2021)	Chapter 8 – Engineering systems asset management	Livro “Reliability analysis and asset management of engineering systems”	Publicado
8	da Silva, R.F.; de Souza, G.F.M. (2022)	Chapter 3 – An improvement framework for maintenance management	Livro “Cases on Optimizing the asset management process”	Publicado
9	da Silva, R.F. et al (2021)	Deciding a multicriteria decision-making (MCDM) method to prioritize maintenance work orders of hydroelectric power plants	Energies	Publicado

Fonte: Autoria própria

A primeira publicação relaciona-se com esta pesquisa por ser uma aplicação baseada no processo “Definir escopo” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Como resultado, a aplicação possibilitou ordenar os equipamentos e sistemas de uma usina hidrelétrica em termos de

criticidade para o gerenciamento de manutenção. Essa publicação também embasou a demonstração das atividades envolvidas neste processo para o estudo de caso durante a avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta, conforme exposta na Seção 6.2.

O segundo artigo remete ao escopo desta pesquisa de forma análoga à primeira publicação, mas para um processo diferente da estrutura proposta. Abordam-se algumas atividades descritas no processo “Avaliar desempenho” por meio de um estudo de caso considerando a mesma usina hidrelétrica usada na avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta. Logo, os resultados desse trabalho apoiaram a demonstração das atividades envolvidas no processo de avaliação de desempenho para o contexto da organização na Seção 6.5.

Por sua vez, a terceira publicação destaca-se pela sua abordagem qualitativa e conceitual e foi desenvolvida a partir da revisão da literatura para a fundamentação teórica desta pesquisa. Como resultado, discutem-se as interfaces entre um sistema de gestão de ativos, baseado nos requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001:2014, e a abordagem da MPT para o gerenciamento de manutenção. O quarto artigo também se relaciona com a etapa de revisão da literatura e visou fornecer um mapeamento da literatura acerca da disciplina de gestão de ativos por meio de uma análise bibliométrica. Esse escopo é mais amplo do que o da análise apresentada para o estado da arte, Seção 2.2, visto que, nesta pesquisa, limitou-se a gestão de ativos no contexto do gerenciamento de manutenção diferentemente do artigo.

A quinta publicação relaciona-se com esta pesquisa por ser uma aplicação baseada no processo “Melhorar” da estrutura proposta de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Apresentam-se as atividades do processo e a sua demonstração por meio de um estudo de caso com base no contexto da usina hidrelétrica desta pesquisa. Dessa forma, esses resultados contribuíram para a demonstração do processo “Melhorar” durante a avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta na Seção 6.6.

Já o sexto artigo está diretamente relacionado com o objetivo geral desta pesquisa pois visa introduzir uma proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Esse trabalho apresenta uma revisão da literatura acerca dos temas, as considerações que embasaram a modelagem da estrutura proposta e a discussão dos seus processos e atividades em detalhes. Dessa forma, a publicação contribui para o avanço na literatura de manutenção com a

introdução de uma nova estrutura de gerenciamento de manutenção que considera às diretrizes da série ISO 55000 para gestão de ativos.

A sétima publicação refere-se a um capítulo de livro acerca da gestão de ativos de sistemas de engenharia. Esse trabalho baseou-se na fundamentação teórica desenvolvida para esta pesquisa e utilizou parte da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Embora o autor desta pesquisa seja um dos autores do livro por um todo, destacou-se apenas o capítulo em que houve uma interface maior com o escopo desta pesquisa.

A oitava publicação é um aprimoramento do artigo cinco para um capítulo de livro acerca de gestão de ativos físicos. Por fim, o artigo nove relaciona-se com o escopo desta pesquisa por ser uma aplicação baseada no processo “Executar” da proposta de estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. Abordou-se a escolha de um método de suporte à tomada de decisão multicritério para a priorização de atividades de manutenção para os ativos físicos. Essa publicação contribuiu para a demonstração do processo “Executar” durante a avaliação da aplicabilidade da estrutura proposta na Seção 6.4.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR 5462, Confiabilidade e manutenibilidade**. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1994.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 31000, Gestão de riscos - Princípios e diretrizes**. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2009.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55000, Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia**. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2014a.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55001, Gestão de ativos - Sistemas de gestão - Requisitos**. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2014b.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 9001, Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. 3. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2015a.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 14001, Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientação para uso**. 3. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2015b.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55002, Gestão de ativos - Sistemas de gestão - Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001**. 2. ed. Rio de janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2020.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55010, Gestão de ativos - Orientação sobre o alinhamento das funções financeiras e não financeiras na gestão de ativos**. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: ABNT, 2021.
- ABRAMAN. Documento Nacional 2013. In: Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, 28, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: 2013.
- ABRAMAN. Documento Nacional 2017. In: Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, 32, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: 2017.
- ABU-ELANIEN, A. E. B.; SALAMA, M. M. A.; BARTNIKAS, R. A Techno-Economic Method for Replacing Transformers. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, n. 2, p. 817–829, abr. 2011.
- ABU-SIADA, A.; ISLAM, S. A new approach to identify power transformer criticality and asset management decision based on dissolved gas-in-oil analysis. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 19, n. 3, p. 1007–1012, jun. 2012.
- ADOGHE, A. U.; AWOSOPE, C. O. A.; EKEH, J. C. Asset maintenance planning in electric power distribution network using statistical analysis of outage data. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 47, p. 424–435, maio 2013.

AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25, n. 7, p. 709–756, ago. 2008.

AKASAH, Z. A.; ALIAS, M. Application of the generic process modelling in the preservation of heritage school buildings. In: **Anais...**3 jul. 2009.

ALDHUBAIB, H. A.; SALAMA, M. M. A. A Novel Approach to Investigate the Effect of Maintenance on the Replacement Time for Transformers. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 29, n. 4, p. 1603–1612, ago. 2014.

AMIN, M. T.; KHAN, F.; AMYOTTE, P. A bibliometric review of process safety and risk analysis. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 126, p. 366–381, jun. 2019.

ANDREWS, J. A modelling approach to railway track asset management. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 227, n. 1, p. 56–73, 13 jan. 2013.

APELAND, S.; AVEN, T. Risk based maintenance optimization: foundational issues. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 67, n. 3, p. 285–292, mar. 2000.

ARUNRAJ, N. S.; MAITI, J. Risk-based maintenance—Techniques and applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 3, p. 653–661, abr. 2007.

BAKAR, N. A.; ABU-SIADA, A. Fuzzy logic approach for transformer remnant life prediction and asset management decision. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 23, n. 5, p. 3199–3208, out. 2016.

BARRETO, P.; COUTO, R. Implementação e certificação de um sistema de gestão de ativos (ISO 55001) no setor rodoviário português. In: CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS, 9, Lisboa. **Anais...** Lisboa: 2019.

BEEHLER, M. E. Reliability centered maintenance for transmission systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 12, n. 2, p. 1023–1028, abr. 1997.

BEHZADIAN, M. et al. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 13051–13069, dez. 2012.

BIGDELI, B. ISO 55001 accreditation at AirportLink tunnelled-motorway: a services company journey. In: Asset Management Conference (AM 2016), **Anais...**Institution of Engineering and Technology, 2016.

BO, D. B. **Application of the ISO 55000 suite for a land-based manufacturing organization**. 2015. University of Stavanger, 2015.

BOOTH, C. et al. Substation based data interpretation techniques for improved power system management. In: Proceedings of 1996 Transmission and Distribution Conference and Exposition, **Anais...**IEEE, 1997.

BOSCH, A.; VOLKER, L.; KOUTAMANIS, A. BIM in the operations stage: bottlenecks and implications for owners. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 331–343, 6 jul. 2015.

BRITTON, R. J.; RUMSEY, P. B. The Role of Asset Management. **Water and Environment Journal**, v. 4, n. 3, p. 251–255, jun. 1990.

BSI. **Collaborative production of architectural, engineering and construction information. Code of Practice**. 2. ed. London: British Standards Institution, 2007.

BUMBLAUSKAS, D. et al. Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics. **Expert Systems with Applications**, v. 90, p. 303–317, dez. 2017.

CALIXTO, E. **Gas and Oil Reliability Engineering - Modeling and analysis**. 2. ed. Cambridge: Gulf Professional Publishing, 2016.

CAMPELO, F. et al. Multicriteria transformer asset management with maintenance and planning perspectives. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 10, n. 9, p. 2087–2097, 9 jun. 2016.

CAMPOS, A. L. N. **Modelagem de processos com BPMN**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

CAMPOS, M. A. L. et al. A new maintenance management model expressed in UML. In: **Reliability, Risk, and Safety**. Londre: CRC Press, 2009.

CAMPOS, M. A. L.; MÁRQUEZ, A. C. Modelling a maintenance management framework based on PAS 55 standard. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 27, n. 6, p. 805–820, out. 2011.

CAMPOS, M. A. L.; MÁRQUEZ, A. C. A Maintenance Management Framework Based on PAS 55. In: **Advanced Maintenance Modelling for Asset Management**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 17–41.

CAREY, J. Practical Implementation of Asset Management through ISO 55001. In: Asset Management Conference (AM 2016), **Anais...Institution of Engineering and Technology**, 2016.

CARNELL, J. et al. Water Supply and Demand Balances: Converting Uncertainty Into Headroom. **Water and Environment Journal**, v. 13, n. 6, p. 413–419, dez. 1999.

CATRINU, M. D.; NORDGÅRD, D. E. Integrating risk analysis and multi-criteria decision support under uncertainty in electricity distribution system asset management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 6, p. 663–670, jun. 2011.

CAVACO, E. S.; NEVES, L. A. C.; CASAS, J. R. Reliability-based approach to the robustness of corroded reinforced concrete structures. **Structural Concrete**, v. 18, n. 2, p. 316–325, abr. 2017.



CAVKA, H. B.; STAUB-FRENCH, S.; POIRIER, E. A. Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. **Automation in Construction**, v. 83, p. 169–183, nov. 2017.

CECCONI, F. R.; MALTESE, S.; DEJACO, M. C. Leveraging BIM for digital built environment asset management. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 2, n. 1, p. 14, 15 dez. 2017.

CHAN, B. et al. Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective. **Structural Monitoring and Maintenance**, v. 2, n. 3, p. 283–300, 25 set. 2015.

CHEN, H.-P.; ALANI, A. M. Reliability and optimised maintenance for sea defences. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Maritime Engineering**, v. 165, n. 2, p. 51–64, jun. 2012.

CHEN, L. et al. Multiobjective Optimization for Maintenance Decision Making in Infrastructure Asset Management. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 6, p. 04015015, nov. 2015.

COOKE, F. L. Plant maintenance strategy: evidence from four British manufacturing firms. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 9, n. 3, p. 239–249, set. 2003.

DA SILVA, R. F. et al. Defining maintenance significant items based on ISO 55000 and AHP: A hydropower plant case study. In: Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, **Anais...2019**.

DA SILVA, R. F.; DE SOUZA, G. F. M. Asset management system (ISO 55001) and Total Productive Maintenance (TPM): a discussion of interfaces for maintenance management. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 15, n. 2, p. 288–313, 1 jun. 2020.

DA SILVA, R. F.; DE SOUZA, G. F. M. Mapping the Literature on Asset Management: A Bibliometric Analysis. **Journal of Scientometric Research**, v. 10, n. 1, p. 27–36, 8 maio 2021.

DAOUD, M. et al. A Record Breaking Achievement Confirming Assets Quality & Reliability: The First Oil & Gas Company to Obtain the New International Standard ISO55001:2014 Certification. In: Day 3 Wed, November 12, 2014, **Anais...SPE**, 10 nov. 2014.

DAVIS, P. et al. A selection framework for infrastructure condition monitoring technologies in water and wastewater networks. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 6, p. 1947–1958, maio 2013.

DE AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L. **Metodologia da pesquisa para engenharias**. 1. ed. Belo Horizonte, MG: CEFET-MG, 2020.

DE LA FUENTE, A. et al. Advanced Techniques for Assets Maintenance Management. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 205–210, 2018.

DE SOUZA, G. F. M. et al. **Reliability analysis and asset management of engineering systems**. 1. ed. Amsterdã: Elsevier, 2021.

DEB, D.; DEY, R.; BALAS, V. E. **Engineering Research Methodology**. Singapore: Springer Singapore, 2019. v. 153.

DEHGHANIAN, P. et al. Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Power Distribution Systems Via Fuzzy AHP. **IEEE Systems Journal**, v. 6, n. 4, p. 593–602, dez. 2012.

DEHGHANIAN, P. et al. A Comprehensive Scheme for Reliability Centered Maintenance in Power Distribution Systems—Part I: Methodology. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 28, n. 2, p. 761–770, abr. 2013.

DONG, M. A Tutorial on Nonlinear Time-Series Data Mining in Engineering Asset Health and Reliability Prediction: Concepts, Models, and Algorithms. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2010, p. 1–22, 2010.

DUPHILY, R. J. **Root cause investigation best practices guide**. Aerospace, 2014.

ELIAS, J.; ROMERO, A. A. Consideraciones para la gestión de líneas de alta tensión, según ISO 55000. In: 2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), **Anais...IEEE**, jun. 2014.

EPE. **Balço Energético Nacional 2018**. Ministério de Minas e Energia, 2018.

FENNER, R. A.; SWEETING, L. A decision support model for the rehabilitation of non-critical sewers. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 9, 1999.

FERNÁNDEZ, J. F. G.; MÁRQUEZ, A. C. Framework for implementation of maintenance management in distribution network service providers. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 94, n. 10, p. 1639–1649, out. 2009.

FOLEY, D. K.; HELLWIG, M. F. Asset Management with Trading Uncertainty. **The Review of Economic Studies**, v. 42, n. 3, p. 327, jul. 1975.

FREEMAN, G. H. et al. Modelling the management of underground water assets. **Journal of Applied Statistics**, v. 23, n. 2–3, p. 273–284, 2 jun. 1996.

FURUYA, A.; MADANAT, S. Accounting for Network Effects in Railway Asset Management. **Journal of Transportation Engineering**, v. 139, n. 1, p. 92–100, jan. 2013.

GALANTE, E. B. F. **Princípios de gestão de risco**. 1. ed. Curitiba, PR: Appris, 2015.

GARDINER, J. L. Sustainable Development for River Catchments. **Water and Environment Journal**, v. 8, n. 3, p. 308–319, jun. 1994.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS Editora, 2009.

GFMAN. **The Asset Management Landscape**. 2. ed. Canadá: GFMAN, 2014.

GFMAN. **The Value of Asset Management to an Organization**. 1. ed. Canadá: GFMAN, 2016a.

GFMAN. **The Maintenance Framework**. 1. ed. Canadá: GFMAN, 2016b.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgements**. 5. ed. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd, 2014.

GULLISKEN, M. T. **Asset management practices in Norwegian industrial sectors**. 2015. University of Stavanger, 2015.

GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N. R. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. **Research Synthesis Methods**, v. 11, n. 2, p. 181–217, 28 mar. 2020.

HAN, D.; KAITO, K.; KOBAYASHI, K. Application of Bayesian estimation method with Markov hazard model to improve deterioration forecasts for infrastructure asset management. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 7, p. 2107–2119, 18 nov. 2014.

HANAI, M. et al. Integration of asset management and smart grid with intelligent grid management system. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 20, n. 6, p. 2195–2202, dez. 2013.

HAROUN, A. E.; DUFFUAA, S. O. Maintenance Organization. In: **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London: Springer London, 2009. p. 3–15.

HASSANAIN, M. A.; FROESE, T. M.; VANIER, D. J. IFC-Based Data Model for Integrated Maintenance Management. In: *Computing in Civil and Building Engineering (2000)*, Reston, VA. **Anais...** Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 4 ago. 2000.

HEGAZY, T. et al. MOST-FIT: Support Techniques for Inspection and Life Cycle Optimization in Building Asset Management. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 27, n. 2, p. 130–142, fev. 2012.

HODKIEWICZ, M. R. The Development of ISO 55000 Series Standards. In: TSE, P. et al. (Ed.). **Engineering Asset Management: Systems, Professional Practices and Certification**. Hong Kong: Springer, 2015. p. 427–438.

HOLGADO, M.; MACCHI, M.; EVANS, S. Exploring the impacts and contributions of maintenance function for sustainable manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 23, p. 7292–7310, 1 dez. 2020.

HOSKINS, R. P.; STRBAC, G.; BRINT, A. T. Modelling the degradation of condition indices. **IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution**, v. 146, n. 4, p. 386, 1999.

HULLEY, R. Corporate real-estate - Finding hidden values with asset management. **Real Estate Review**, v. 15, n. 2, p. 30–31, 1985.

HUSSIN, M. S.; AL-MEHAIRI, M. S.; HASSAN, A. M. DEWA Distribution Power Asset Management System in View of ISO 55000 Standard. In: Asset Management Conference (AM 2016), **Anais...Institution of Engineering and Technology**, 2016.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. v. 186.

IAM. **PAS 55:2008, Gestão de ativos - Parte 2: Diretrizes para a aplicação do PAS-1 (PAS 55-2)**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABRAMAN, 2008a.

IAM. **PAS 55:2008, Gestão de ativos - Parte 1: Especificação para a gestão otimizada dos ativos físicos (PAS 55-1)**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABRAMAN, 2008b.

IAM. **Asset Management - An Anatomy**. 3. ed. Bristol: IAM, 2015.

IHEMEGBULEM, I.; BAGLEE, D. Assessing the effectiveness of ISO 55000 standard in small to medium sizes enterprises (SMES). In: The Africa Maintenance & Reliability Conference, Lagos. **Anais...** Lagos: 2016.

IHEMEGBULEM, I.; BAGLEE, D. ISO55000 standard as a driver for effective maintenance budgeting. In: 2nd International Conference on Maintenance Engineering (IncoME), **Anais...**2017.

INANLOO, B. et al. A decision aid GIS-based risk assessment and vulnerability analysis approach for transportation and pipeline networks. **Safety Science**, v. 84, p. 57–66, abr. 2016.

ISO. **ISO 29481-1, Building information modelling — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format**. 1. ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2010.

ISO. **ISO/IEC Directives, Part 1 - Consolidated ISO supplement - Procedures specific to ISO**. 9. ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2018.

ISO. **Known Certified Organizations**. Disponível em: <<https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/known-certified-organizations.html>>. Acesso em: 24 fev. 2022.

JARVIS, M. G.; HEDGES, M. R. Use of Soil Maps to Predict the Incidence of Corrosion and the Need for Iron Mains Renewal. **Water and Environment Journal**, v. 8, n. 1, p. 68–75, fev. 1994.

JONKER, J.; PENNINK, B. **The Essence of Research Methodology**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

KABIR, G.; SADIQ, R.; TESFAMARIAM, S. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 10, n. 9, p. 1176–1210, 2 set. 2014.

KAHRAMAN, C.; ONAR, S. C.; OZTAYSI, B. Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 4, p. 637–666, 4 jul. 2015.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Mapas estratégicos: Convertendo ativos intangíveis em resultados tangíveis**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Alta Books, 2018.

KARDEC, A. P.; NASCIF, J. A. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2009.

KELLY, A.; HARRIS, M. J. **The management of industrial maintenance**. London: Butterworth, 1978.

KERSLEY, T.; SHARP, A. J. The asset management journey: A case study of network rail's journey supported by an excellence model. In: Asset Management Conference 2014, **Anais...**Institution of Engineering and Technology, 2014.

KHAN, F. I.; HADDARA, M. M. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 16, n. 6, p. 561–573, nov. 2003.

KHELIFA, A. et al. Impacts of Climate Change on Scour-Vulnerable Bridges: Assessment Based on HYRISK. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 19, n. 2, p. 138–146, jun. 2013.

KOBAYASHI, K.; DO, M.; HAN, D. Estimation of Markovian transition probabilities for pavement deterioration forecasting. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 14, n. 3, p. 343–351, 8 maio 2010.

KOKSAL, A.; OZDEMIR, A. Improved transformer maintenance plan for reliability centred asset management of power transmission system. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 10, n. 8, p. 1976–1983, 19 maio 2016.

KOMLJENOVIC, D. et al. Risks of extreme and rare events in Asset Management. **Safety Science**, v. 88, p. 129–145, out. 2016.

KONSTANTAKOS, P.; CHOUNTALAS, P.; MAGOUTAS, A. The Contemporary Landscape of Asset Management Systems. **Quality - Access to Success**, v. 20, n. 169, p. 10–17, 2019.

LAM, J. Y. J.; BANJEVIC, D. A myopic policy for optimal inspection scheduling for condition based maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 144, p. 1–11, dez. 2015.

LAU, H. C. W.; DWIGHT, R. A. A fuzzy-based decision support model for engineering asset condition monitoring – A case study of examination of water pipelines. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 13342–13350, set. 2011.

LEONETI, A. B.; PIRES, E. C. Decision sciences in the management of water resources: multi-criteria methods and game theory applied to the field of sanitation. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 7, n. 2, p. 229–242, 1 jun. 2017.

LIAO, L.; LEE, J. Design of a reconfigurable prognostics platform for machine tools. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 240–252, jan. 2010.

LIMA, E. S.; COSTA, A. P. C. S. Improving Asset Management under a regulatory view. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 190, p. 106523, out. 2019.

LINDLEY, E. Asset Management Planning: Theory and Practice. **Water and Environment Journal**, v. 6, n. 5, p. 621–627, 26 out. 1992.

LINDLEY, E.; DAVIES, S. E. Cost-Effective Water-Quality Modelling of Potable Water Distribution Systems. **Water and Environment Journal**, v. 9, n. 5, p. 470–476, out. 1995.

LOVE, P. E. D. et al. Systems information modelling: Enabling digital asset management. **Advances in Engineering Software**, v. 102, p. 155–165, dez. 2016.

MALETIČ, D. et al. Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4759, 13 dez. 2018.

MAROCCO, G. S. **A importância da Manutenção Produtiva Total na melhoria contínua do processo**. 2013. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

MÁRQUEZ, A. C. **The Maintenance Management Framework**. London: Springer London, 2007.

MÁRQUEZ, A. C. et al. The maintenance management framework. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 15, n. 2, p. 167–178, 29 maio 2009.

MCQUILLAN, J.; WILLEKENS, R.; BRAUD, X.-F. Closing the loop on enterprise asset management (EAM). In: 7th IET Conference on Railway Condition Monitoring 2016 (RCM 2016), **Anais...**Institution of Engineering and Technology, 2016.

MEHAIRJAN, R. P. Y. et al. Organisation-wide maintenance & inspection improvement plan - A Dutch electricity & gas distribution network operators approach. In: IET & IAM Asset Management Conference 2012, **Anais...**Institution of

Engineering and Technology, 2012.

MEIJER, D. et al. Identifying Critical Elements in Sewer Networks Using Graph-Theory. **Water**, v. 10, n. 2, p. 136, 31 jan. 2018.

MELANI, A. H. de A. et al. A framework to automate fault detection and diagnosis based on moving window principal component analysis and Bayesian network. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 215, p. 107837, nov. 2021.

MELOY, R. G. An asset management framework for corporate real-estate. **Real Estate Review**, v. 12, n. 1, p. 99–103, 1982.

METCALFE, A. V. Probabilistic Modelling in the Water Industry. **Water and Environment Journal**, v. 5, n. 4, p. 439–449, ago. 1991.

MINNAAR, J. R.; BASSON, W.; VLOK, P.-J. Quantitative methods required for implementing PAS 55 or the ISO 55000 series for asset management. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 24, n. 3, p. 333–339, 26 nov. 2013a.

MINNAAR, J. R.; BASSON, W.; VLOK, P.-J. Quantitative methods required for implementing PAS 55 or the ISO 55000 series for asset management. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 24, n. 3, 26 nov. 2013b.

MORTON, K. Asset management in the electricity supply industry. **Power Engineering Journal**, v. 13, n. 5, p. 233–240, 1 out. 1999.

MOUBRAY, J. **Reliability-centred Maintenance**. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann, 1997.

MULET-FORTEZA, C. et al. A bibliometric research in the tourism, leisure and hospitality fields. **Journal of Business Research**, v. 101, p. 819–827, ago. 2019.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. 1. ed. Portland: Productivity Press, 1988.

NEATH, S.; HULSE, R.; CODD, A. Building information modelling in practice: transforming Gatwick airport, UK. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering**, v. 167, n. 2, p. 81–87, maio 2014.

NORDAL, H.; EL-THALJI, I. Modeling a predictive maintenance management architecture to meet industry 4.0 requirements: A case study. **Systems Engineering**, v. 24, n. 1, p. 34–50, 24 jan. 2021.

NORDGÅRD, D. E.; SAND, K. Application of Bayesian networks for risk analysis of MV air insulated switch operation. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 12, p. 1358–1366, dez. 2010.

OKOH, P.; SCHJØLBERG, P.; WILSON, A. AMMP: a new maintenance management model based on ISO 55000. **Infrastructure Asset Management**, v. 3, n. 1, p. 21–28, mar. 2016.

- OMG. **Business Process Model and Notation (BPMN)**. 2. ed. Milford: OMG, 2011.
- OSMAN, H.; ATEF, A.; MOSELHI, O. Optimizing Inspection Policies for Buried Municipal Pipe Infrastructure. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 26, n. 3, p. 345–352, jun. 2012.
- PARK, S.; PARK, S. I.; LEE, S.-H. Strategy on sustainable infrastructure asset management: Focus on Korea's future policy directivity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 710–722, set. 2016.
- PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. The building information modelling trajectory in facilities management: A review. **Automation in Construction**, v. 75, p. 45–55, mar. 2017.
- PARRA, C. et al. Integration of Asset Management Standard ISO55000 with a Maintenance Management Model. In: Márquez A. C., Komljenovic D., Amadi-Echendu J. (eds) 14th WCEAM Proceedings. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 189–200. Cham: Springer, 2021.
- PHILIPPATOS, G. C.; CHRISTOFI, A. Liquid-asset management modeling for intersubsidiary operations of multinational-corporations – A goal programming approach. **Management International Review**, v. 24, n. 2, p. 4–14, 1984.
- PRESCOTT, D.; ANDREWS, J. A track ballast maintenance and inspection model for a rail network. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v. 227, n. 3, p. 251–266, 4 jun. 2013.
- PRESCOTT, D.; ANDREWS, J. Investigating railway track asset management using a Markov analysis. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 229, n. 4, p. 402–416, 19 maio 2015.
- RENWICK, F. B. ASSET MANAGEMENT AND INVESTOR PORTFOLIO BEHAVIOR: THEORY AND PRACTICE. **The Journal of Finance**, v. 24, n. 2, p. 181–206, maio 1969.
- RODA, I.; MACCHI, M. Studying the funding principles for integrating Asset Management in Operations: an empirical research in production companies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 28, p. 1–6, 2016.
- ROSHANI, E.; FILION, Y. R. Event-Based Approach to Optimize the Timing of Water Main Rehabilitation with Asset Management Strategies. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 140, n. 6, p. 04014004, jun. 2014.
- RUITENBURG, R. J.; BRAAKSMA, A. J. J. Mitigating change in the goals and context of capital assets: Design of the Lifetime Impact Identification Analysis. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 17, p. 50–59, maio 2017a.
- RUITENBURG, R. J.; BRAAKSMA, A. J. J. Evaluation of the Lifetime Impact Identification Analysis: Two tests in a changeable context. **CIRP Journal of**



**Manufacturing Science and Technology**, v. 17, p. 42–49, maio 2017b.

SAATY, T. L. Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1–35, mar. 2004.

SAATY, T. L.; HU, G. Ranking by Eigenvector versus other methods in the Analytic Hierarchy Process. **Applied Mathematics Letters**, v. 11, n. 4, p. 121–125, jul. 1998.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Boston, MA: Springer US, 2012. v. 175.

SABAEI, D.; ERKOYUNCU, J.; ROY, R. A Review of Multi-criteria Decision Making Methods for Enhanced Maintenance Delivery. **Procedia CIRP**, v. 37, p. 30–35, 2015.

SAE. **JA1011 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes**. 2. ed. Warrendale: SAE International, 2009.

SAE. **JA1012 A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard**. 2. ed. Warrendale: SAE International, 2011.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

SEOW, K. S. et al. Moving towards reliability-centred management of energy, power and transportation assets. In: 2016 Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification (ACEPT), **Anais...IEEE**, out. 2016.

SIKSNELYTE, I. et al. An Overview of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Dealing with Sustainable Energy Development Issues. **Energies**, v. 11, n. 10, p. 2754, 15 out. 2018.

SIMPSON, B. Progress towards integration of reliability concepts in a segregated electric utility system. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 46, n. 1, p. 109–112, jan. 1994.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark Editora, 2014.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333–339, nov. 2019.

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.

SOKOVIC, M. et al. Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process. **Journal of Mechanical Engineering**, v. 55, n. 5, 2009.

SOUSA, N.; ALÇADA-ALMEIDA, L.; COUTINHO-RODRIGUES, J. Bi-objective

Modeling Approach for Repairing Multiple Feature Infrastructure Systems. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 3, p. 213–226, mar. 2017.

SZEGÖ, G. P. Bank asset management and financial insurance. **Journal of Banking & Finance**, v. 10, n. 2, p. 295–307, jun. 1986.

TABORS, R. D. Transmission system management and pricing: new paradigms and international comparisons. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 9, n. 1, p. 206–215, 1994.

TANG, Y. et al. A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. **Energy**, v. 118, p. 1295–1303, jan. 2017.

TAVARES, A. D.; GOMES, C. F. S. A evolução da gestão de ativos. **Business and Management Review**, v. 4, n. 8, p. 97–103, 2015.

THOMAS, C. G. **Research methodology and scientific writing**. 2. ed. Thrissur: Springer, 2021.

THOMAS, O.; SOBANJO, J. Comparison of Markov Chain and Semi-Markov Models for Crack Deterioration on Flexible Pavements. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 19, n. 2, p. 186–195, jun. 2013.

TORRACO, R. J. Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. **Human Resource Development Review**, v. 4, n. 3, p. 356–367, 24 set. 2005.

TRAPPEY, A. J. C. et al. Intelligent engineering asset management system for power transformer maintenance decision supports under various operating conditions. **Computers & Industrial Engineering**, v. 84, p. 3–11, jun. 2015.

TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V.; NI, W.-C. A multi-agent collaborative maintenance platform applying game theory negotiation strategies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 24, n. 3, p. 613–623, 23 jun. 2013.

UGARELLI, R. et al. Asset Management for Urban Wastewater Pipeline Networks. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 16, n. 2, p. 112–121, jun. 2010.

VAN DEN HONERT, A. F.; SCHOEMAN, J. S.; VLOK, P. J. Correlating the content and context of PAS 55 with the ISO 55000 series. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 24, n. 2, p. 24, 6 set. 2013.

VAN DER VELDE, J.; KLATTER, L.; BAKKER, J. A holistic approach to asset management in the Netherlands. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 9, n. 4, p. 340–348, abr. 2013.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 31 ago. 2010.

WALKER, D. A. A Recursive Programming Approach to Bank Asset Management. **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 7, n. 5, p. 2055, dez. 1972.

WANG, L. et al. A Risk-Based Maintenance Decision-Making Approach for Railway Asset Management. **International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering**, v. 28, n. 04, p. 453–483, 26 abr. 2018.

WAY, P. J. Implications of ISO 55000 standards on infrastructure asset management in Australia. In: International Public Works Conference, Darwin. **Anais...** Darwin: 2013.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

WIJNIA, Y.; DE CROON, J. The Asset Management Process Reference Model for Infrastructures. In: AMADI-ECHENDU, J.; HOOHLO, C.; MATHEW, J. (Ed.). **9th WCEAM Research Papers: Lecture Notes in Mechanical Engineering**. Cham: Springer, 2015. p. 447–457.

WISNIEWSKI, Z.; BLASZCZYK, A. Changes in Maintenance Management Practices - Standards and Human Factor. In: TRZCIELINSKI, S. (Ed.). **Advances in Intelligent Systems and Computing**. p. 348–354. 2018.

WOODHOUSE, J. Briefing: Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000. **Infrastructure Asset Management**, v. 1, n. 3, p. 57–59, set. 2014.

WOODHOUSE, J. What is the value of asset management? **Infrastructure Asset Management**, v. 6, n. 2, p. 102–108, jun. 2018.

WOS. **Web of Science Core Collection**. Disponível em: <<https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science-core-collection/>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 2. ed. Nova Lima, MG: Falconi Editora, 2014.

YOUNIS, R.; KNIGHT, M. A. A probability model for investigating the trend of structural deterioration of wastewater pipelines. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 25, n. 6, p. 670–680, dez. 2010.

ŽARKOVIĆ, M.; STOJKOVIĆ, Z. Analysis of artificial intelligence expert systems for power transformer condition monitoring and diagnostics. **Electric Power Systems Research**, v. 149, p. 125–136, ago. 2017.

ZHANG, X.; GAO, H. Road maintenance optimization through a discrete-time semi-Markov decision process. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 103, p. 110–119, jul. 2012.

## APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DOS ATIVOS FÍSICOS

Apresentam-se, neste apêndice, as avaliações de desempenho dos 336 ativos físicos da usina hidrelétrica em relação aos sete critérios de criticidade na Tabela A.1. Pode-se observar a nota final da criticidade para cada um desses ativos obtida a partir da agregação ponderada das notas atribuídas com os pesos relativos de cada critério. Além disso, a partir da ordenação das notas finais, foi possível estabelecer a posição no ranqueamento de criticidade e a classe de criticidade (A, B e C).

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
<b>1.1.1.1.</b>	<b>Comportas de tomada de água</b>	UG 01	7	1	3	1	1	3	6	4,4722	33	A
<b>1.1.1.2.</b>	<b>Grades de adução</b>	UG 01	9	1	3	1	6	7	9	6,0196	3	A
1.1.2.1.1.	Válvula de enchimento 1	UG 01	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	289	C
1.1.2.1.2.	Válvula de enchimento 2	UG 01	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	290	C
1.1.2.1.3.	Válvula de drenagem	UG 01	3	1	1	1	1	4	3	2,1830	274	C
1.1.2.1.4.	Caixa espiral	UG 01	7	1	3	1	1	7	2	4,2186	48	A
<b>1.1.2.2.</b>	<b>Pré-distribuidor</b>	UG 01	7	1	3	1	1	9	7	4,8366	25	A
<b>1.1.2.3.</b>	<b>Distribuidor</b>	UG 01	7	1	3	1	1	7	9	4,9634	16	A
<b>1.1.2.4.</b>	<b>Rotor Kaplan</b>	UG 01	7	1	5	1	1	7	5	4,8684	20	A
1.1.2.5.1.	Caixa da gaxeta	UG 01	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	62	A
1.1.2.5.2.	Tampa da turbina	UG 01	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	63	A
1.1.2.5.3.	Sistema de drenagem	UG 01	7	1	1	1	2	3	7	4,2910	44	A
<b>1.1.2.6.</b>	<b>Eixo da turbina</b>	UG 01	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	37	A
<b>1.1.2.7.</b>	<b>Mancal guia da turbina</b>	UG 01	5	1	4	1	2	7	7	4,1177	52	A
1.1.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 01	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	119	B
<b>1.1.3.1.</b>	<b>Transformador serviço auxiliar</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	301	C
<b>1.1.3.2.</b>	<b>Barramento rígido blindado</b>	UG 01	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	94	A
<b>1.1.3.3.</b>	<b>Disjuntor</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	131	B
<b>1.1.3.4.</b>	<b>Seccionadoras de alta</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	172	B

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
1.1.3.5.	<b>Transformadores de corrente alta tensão</b>	UG 01	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	78	A
1.1.3.6.	<b>Transformador de potencial de alta tensão</b>	UG 01	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	79	A
1.1.3.7.	<b>Seccionadora de baixa</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	132	B
1.1.4.1.	<b>Estatador</b>	UG 01	3	1	1	1	1	9	7	2,8236	126	B
1.1.4.2.	<b>Rotor</b>	UG 01	5	1	1	1	1	9	7	3,6648	88	A
1.1.4.3.	<b>Sistema de frenagem e levantamento</b>	UG 01	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	95	A
1.1.4.4.	<b>Eixo do gerador</b>	UG 01	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	38	A
1.1.4.5.	<b>Elementos de união</b>	UG 01	5	1	1	1	1	5	5	3,2800	109	A
1.1.4.6.	<b>Mancal combinado gerador</b>	UG 01	5	1	3	1	1	7	7	3,9094	72	A
1.1.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 01	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	120	B
1.1.4.7.	<b>Sistema de proteção do gerador</b>	UG 01	5	1	1	1	2	3	9	3,6626	92	A
1.1.4.8	<b>Radiadores (4)</b>	UG 01	3	1	1	1	1	1	7	2,4796	185	B
1.1.5.1.	<b>Tubulações</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	173	B
1.1.5.2.	<b>Filtro autolimpante</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	4	2,2464	269	C
1.1.5.3.	<b>Filtro ciclone</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	4	2,2464	270	C
1.1.5.4.	<b>Válvula refrigeração W9</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	221	C
1.1.5.5.	<b>Válvula refrigeração motorizada 8"</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	222	C
1.1.6.1.	<b>Regulador automático de tensão (AVR)</b>	UG 01	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	207	B
1.1.6.2.	<b>Retificadores controlados (2)</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	133	B
1.1.6.3.	<b>Sistema de disparo e controle</b>	UG 01	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	134	B
1.1.6.4.	<b>Transformador excitação 2SA1</b>	UG 01	3	1	2	1	1	5	9	3,0297	114	A
1.1.6.5.	<b>Anéis coletores</b>	UG 01	2	1	1	1	1	5	5	2,0182	281	C
1.1.7.1.	<b>Mecanismo distribuidor</b>	UG 01	3	1	1	1	1	7	7	2,7376	148	B
1.1.7.2.1.	Cabeçote Kaplan	UG 01	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	162	B
1.1.7.2.2.	Bucha de cabeçote	UG 01	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	163	B
1.1.7.2.3.	Mecanismo Kaplan	UG 01	7	1	5	1	1	7	7	5,0812	12	A
1.1.7.3.1.	Regulador eletrônico	UG 01	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	188	B
1.1.7.3.2.	Controle distribuidor	UG 01	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	189	B
1.1.7.3.3.	Controle turbina	UG 01	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	190	B

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
1.1.7.4.1.	Sistema de resfriamento de óleo	UG 01	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	150	B
1.1.7.4.2.	Sistema de pressurização de óleo	UG 01	3	1	2	1	2	3	7	2,7739	146	B
<b>1.1.8.1.</b>	<b>Válvula de enchimento</b>	UG 01	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	314	C
<b>1.1.8.2.</b>	<b>Válvula de drenagem</b>	UG 01	2	1	1	1	1	3	3	1,7194	310	C
<b>1.1.8.3.</b>	<b>Duto de sucção</b>	UG 01	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	54	A
<b>1.1.8.4.</b>	<b>Aro câmara</b>	UG 01	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	55	A
<b>1.2.1.1.</b>	<b>Comportas de tomada de água</b>	UG 02	7	1	3	1	1	3	6	4,4722	34	A
<b>1.2.1.2.</b>	<b>Grades de adução</b>	UG 02	9	1	3	1	6	7	9	6,0196	4	A
1.2.2.1.1.	Válvula de enchimento 1	UG 02	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	291	C
1.2.2.1.2.	Válvula de enchimento 2	UG 02	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	292	C
1.2.2.1.3.	Válvula de drenagem	UG 02	3	1	1	1	1	4	3	2,183	275	C
1.2.2.1.4.	Caixa espiral	UG 02	7	1	3	1	1	7	2	4,2186	49	A
<b>1.2.2.2.</b>	<b>Pré-distribuidor</b>	UG 02	7	1	3	1	1	9	7	4,8366	26	A
<b>1.2.2.3.</b>	<b>Distribuidor</b>	UG 02	7	1	3	1	1	7	9	4,9634	17	A
<b>1.2.2.4.</b>	<b>Rotor Kaplan</b>	UG 02	7	1	5	1	1	7	5	4,8684	21	A
1.2.2.5.1.	Caixa da gaxeta	UG 02	7	1	1	1	1	3	5	4,0352	70	A
1.2.2.5.2.	Tampa da turbina	UG 02	7	1	1	1	1	3	5	4,0352	71	A
1.2.2.5.3.	Sistema de drenagem	UG 02	7	1	1	1	1	3	7	4,2480	47	A
<b>1.2.2.6.</b>	<b>Eixo da turbina</b>	UG 02	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	39	A
<b>1.2.2.7.</b>	<b>Mancal guia da turbina</b>	UG 02	5	1	4	1	1	7	7	4,0747	68	A
1.2.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 02	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	121	B
<b>1.2.3.1.</b>	<b>Barramento rígido blindado</b>	UG 02	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	96	A
<b>1.2.3.2.</b>	<b>Disjuntor</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	135	B
<b>1.2.3.3.</b>	<b>Seccionadoras de alta</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	174	B
<b>1.2.3.4.</b>	<b>Transformadores de corrente alta tensão</b>	UG 02	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	80	A
<b>1.2.3.5.</b>	<b>Transformador de potencial de alta tensão</b>	UG 02	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	81	A
<b>1.2.4.1.</b>	<b>Estator</b>	UG 02	3	1	1	1	1	9	7	2,8236	127	B
<b>1.2.4.2.</b>	<b>Rotor</b>	UG 02	5	1	1	1	1	9	7	3,6648	89	A
<b>1.2.4.3.</b>	<b>Sistema de frenagem e levantamento</b>	UG 02	5	1	1	1	2	3	9	3,6626	93	A

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
1.2.4.4.	<b>Eixo do gerador</b>	UG 02	7	1	1	1	2	9	7	4,5490	32	A
1.2.4.5.	<b>Elementos de união</b>	UG 02	5	1	1	1	1	5	5	3,2800	110	A
1.2.4.6.	<b>Mancal combinado gerador</b>	UG 02	5	1	3	1	1	7	7	3,9094	73	A
1.2.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 02	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	122	B
1.2.4.7.	<b>Sistema de proteção do gerador</b>	UG 02	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	97	A
1.2.4.8	<b>Radiadores (4)</b>	UG 02	3	1	1	1	1	1	7	2,4796	186	B
1.2.5.1.	<b>Tubulações</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	175	B
1.2.5.2.	<b>Filtro autolimpante</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	4	2,2464	271	C
1.2.5.3.	<b>Filtro ciclone</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	4	2,2464	272	C
1.2.5.4.	<b>Válvula refrigeração W10</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	223	C
1.2.5.5.	<b>Válvula refrigeração motorizada 8"</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	224	C
1.2.6.1.	<b>Regulador automático de tensão (AVR)</b>	UG 02	2	1	1	1	5	3	9	2,5298	179	B
1.2.6.2.	<b>Retificadores controlados (2)</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	136	B
1.2.6.3.	<b>Sistema de disparo e controle</b>	UG 02	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	137	B
1.2.6.4.	<b>Transformador excitação 2SA2</b>	UG 02	3	1	2	1	1	5	9	3,0297	115	A
1.2.6.5.	<b>Anéis coletores</b>	UG 02	2	1	1	1	1	5	5	2,0182	282	C
1.2.7.1.	<b>Mecanismo distribuidor</b>	UG 02	3	1	1	1	1	7	7	2,7376	149	B
1.2.7.2.1.	Cabeçote Kaplan	UG 02	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	164	B
1.2.7.2.2.	Bucha de cabeçote	UG 02	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	165	B
1.2.7.2.3.	Mecanismo Kaplan	UG 02	7	1	5	1	1	7	7	5,0812	13	A
1.2.7.3.1.	Regulador eletrônico	UG 02	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	191	B
1.2.7.3.2.	Controle distribuidor	UG 02	2	1	1	1	2	5	9	2,4868	180	B
1.2.7.3.3.	Controle turbina	UG 02	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	192	B
1.2.7.4.1.	Sistema de resfriamento de óleo	UG 02	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	151	B
1.2.7.4.2.	Sistema de pressurização de óleo	UG 02	3	1	2	1	2	3	7	2,7739	147	B
1.2.8.1.	<b>Válvula de enchimento</b>	UG 02	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	315	C
1.2.8.2.	<b>Válvula de drenagem</b>	UG 02	2	1	1	1	1	3	3	1,7194	311	C
1.2.8.3.	<b>Duto de sucção</b>	UG 02	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	56	A
1.2.8.4.	<b>Aro câmara</b>	UG 02	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	57	A

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
<b>1.3.1.1.</b>	<b>Comportas de tomada de água</b>	UG 03	7	1	3	1	1	3	6	4,4722	35	A
<b>1.3.1.2.</b>	<b>Grades de adução</b>	UG 03	9	1	3	1	6	7	9	6,0196	5	A
1.3.2.1.1.	Válvula de enchimento 1	UG 03	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	293	C
1.3.2.1.2.	Válvula de enchimento 2	UG 03	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	294	C
1.3.2.1.3.	Válvula de drenagem	UG 03	3	1	1	1	1	4	3	2,183	276	C
1.3.2.1.4.	Caixa espiral	UG 03	7	1	3	1	1	7	2	4,2186	50	A
<b>1.3.2.2.</b>	<b>Pré-distribuidor</b>	UG 03	7	1	3	1	1	9	7	4,8366	27	A
<b>1.3.2.3.</b>	<b>Distribuidor</b>	UG 03	7	1	3	1	2	7	9	5,0064	15	A
<b>1.3.2.4.</b>	<b>Rotor Kaplan</b>	UG 03	7	1	5	1	1	7	5	4,8684	22	A
1.3.2.5.1.	Caixa da gaxeta	UG 03	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	64	A
1.3.2.5.2.	Tampa da turbina	UG 03	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	65	A
1.3.2.5.3.	Sistema de drenagem	UG 03	7	1	1	1	2	3	7	4,2910	45	A
<b>1.3.2.6.</b>	<b>Eixo da turbina</b>	UG 03	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	40	A
<b>1.3.2.7.</b>	<b>Mancal guia da turbina</b>	UG 03	5	1	4	1	2	7	7	4,1177	53	A
1.3.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 03	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	123	B
<b>1.3.3.1.</b>	<b>Transformador serviço auxiliar</b>	UG 03	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	302	C
<b>1.3.3.2.</b>	<b>Barramento rígido blindado</b>	UG 03	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	98	A
<b>1.3.3.3.</b>	<b>Disjuntor</b>	UG 03	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	138	B
<b>1.3.3.4.</b>	<b>Seccionadoras de alta</b>	UG 03	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	176	B
<b>1.3.3.5.</b>	<b>Transformadores de corrente alta tensão</b>	UG 03	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	82	A
<b>1.3.3.6.</b>	<b>Transformador de potencial de alta tensão</b>	UG 03	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	83	A
<b>1.3.3.7.</b>	<b>Seccionadora de baixa</b>	UG 03	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	139	B
<b>1.3.4.1.</b>	<b>Estator</b>	UG 03	3	1	1	1	1	9	7	2,8236	128	B
<b>1.3.4.2.</b>	<b>Rotor</b>	UG 03	5	1	1	1	1	9	7	3,6648	90	A
<b>1.3.4.3.</b>	<b>Sistema de frenagem e levantamento</b>	UG 03	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	99	A
<b>1.3.4.4.</b>	<b>Eixo do gerador</b>	UG 03	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	41	A
<b>1.3.4.5.</b>	<b>Elementos de união</b>	UG 03	5	1	1	1	1	5	5	3,2800	111	A
<b>1.3.4.6.</b>	<b>Mancal combinado gerador</b>	UG 03	5	1	3	1	1	7	7	3,9094	74	A
1.3.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 03	3	1	2	1	1	3	9	2,9437	124	B



Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
1.3.4.7.	Sistema de proteção do gerador	UG 03	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	100	A
1.3.4.8	Radiadores (4)	UG 03	3	1	1	1	1	1	7	2,4796	187	B
1.3.5.1.	Tubulações	UG 03	3	1	1	1	4	3	7	2,6946	156	B
1.3.5.2.	Filtro autolimpante	UG 03	3	1	1	1	4	3	4	2,3754	205	B
1.3.5.3.	Filtro ciclone	UG 03	3	1	1	1	4	3	4	2,3754	206	B
1.3.5.4.	Válvula refrigeração W11	UG 03	3	1	1	1	4	3	5	2,4818	183	B
1.3.5.5.	Válvula refrigeração motorizada 8"	UG 03	3	1	1	1	4	3	5	2,4818	184	B
1.3.6.1.	Regulador automático de tensão (AVR)	UG 03	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	208	B
1.3.6.2.	Retificadores controlados (2)	UG 03	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	140	B
1.3.6.3.	Sistema de disparo e controle	UG 03	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	141	B
1.3.6.4.	Transformador excitação 2SA3	UG 03	3	1	2	1	2	5	9	3,0727	113	A
1.3.6.5.	Anéis coletores	UG 03	2	1	1	1	1	5	5	2,0182	283	C
1.3.7.1.	Mecanismo distribuidor	UG 03	3	1	1	1	2	7	7	2,7806	130	B
1.3.7.2.1.	Cabeçote Kaplan	UG 03	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	166	B
1.3.7.2.2.	Bucha de cabeçote	UG 03	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	167	B
1.3.7.2.3.	Mecanismo Kaplan	UG 03	7	1	5	1	1	7	7	5,0812	14	A
1.3.7.3.1.	Regulador eletrônico	UG 03	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	193	B
1.3.7.3.2.	Controle distribuidor	UG 03	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	194	B
1.3.7.3.3.	Controle turbina	UG 03	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	195	B
1.3.7.4.1.	Sistema de resfriamento de óleo	UG 03	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	152	B
1.3.7.4.2.	Sistema de pressurização de óleo	UG 03	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	153	B
1.3.8.1.	Válvula de enchimento	UG 03	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	316	C
1.3.8.2.	Válvula de drenagem	UG 03	2	1	1	1	1	3	3	1,7194	312	C
1.3.8.3.	Duto de sucção	UG 03	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	58	A
1.3.8.4.	Aro câmara	UG 03	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	59	A
1.4.1.1.	Comportas de tomada de água	UG 04	7	1	3	1	1	3	6	4,4722	36	A
1.4.1.2.	Grades de adução	UG 04	9	1	3	1	6	7	9	6,0196	6	A
1.4.2.1.1.	Válvula de enchimento 1	UG 04	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	295	C
1.4.2.1.2.	Válvula de enchimento 2	UG 04	3	1	1	1	1	4	1	1,9702	296	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
1.4.2.1.3.	Válvula de drenagem	UG 04	3	1	1	1	1	4	3	2,183	277	C
1.4.2.1.4.	Caixa espiral	UG 04	7	1	3	1	1	7	2	4,2186	51	A
<b>1.4.2.2.</b>	<b>Pré-distribuidor</b>	UG 04	7	1	3	1	1	9	7	4,8366	28	A
<b>1.4.2.3.</b>	<b>Distribuidor</b>	UG 04	7	1	3	1	1	7	9	4,9634	18	A
<b>1.4.2.4.</b>	<b>Rotor Kaplan</b>	UG 04	7	1	5	1	1	7	5	4,8684	23	A
1.4.2.5.1.	Caixa da gaxeta	UG 04	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	66	A
1.4.2.5.2.	Tampa da turbina	UG 04	7	1	1	1	2	3	5	4,0782	67	A
1.4.2.5.3.	Sistema de drenagem	UG 04	7	1	1	1	2	3	7	4,2910	46	A
<b>1.4.2.6</b>	<b>Eixo da turbina</b>	UG 04	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	42	A
<b>1.4.2.7.</b>	<b>Mancal guia da turbina</b>	UG 04	5	1	4	1	1	7	7	4,0747	69	A
1.4.2.7.4.	Sistema de lubrificação MGT	UG 04	3	1	2	1	2	3	9	2,9867	117	A
<b>1.4.3.1.</b>	<b>Transformador serviço auxiliar</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	303	C
<b>1.4.3.2.</b>	<b>Barramento rígido blindado</b>	UG 04	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	101	A
<b>1.4.3.3.</b>	<b>Disjuntor</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	142	B
<b>1.4.3.4.</b>	<b>Seccionadoras</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	177	B
<b>1.4.3.5.</b>	<b>Transformadores de corrente alta tensão</b>	UG 04	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	84	A
<b>1.4.3.6.</b>	<b>Transformador de potencial de alta tensão</b>	UG 04	5	1	2	1	1	3	9	3,7849	85	A
<b>1.4.3.7.</b>	<b>Seccionadora de baixa</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	143	B
<b>1.4.4.1.</b>	<b>Estator</b>	UG 04	3	1	1	1	1	9	7	2,8236	129	B
<b>1.4.4.2.</b>	<b>Rotor</b>	UG 04	5	1	1	1	1	9	7	3,6648	91	A
<b>1.4.4.3.</b>	<b>Sistema de frenagem e levantamento</b>	UG 04	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	102	A
<b>1.4.4.4.</b>	<b>Eixo do gerador</b>	UG 04	7	1	1	1	1	7	7	4,4200	43	A
<b>1.4.4.5.</b>	<b>Elementos de união</b>	UG 04	5	1	1	1	1	5	5	3,2800	112	A
<b>1.4.4.6.</b>	<b>Mancal combinado gerador</b>	UG 04	5	1	3	1	1	7	7	3,9094	75	A
1.4.4.6.7.	Sistema lubrificação MCG	UG 04	3	1	2	1	2	3	9	2,9867	118	B
<b>1.4.4.7.</b>	<b>Sistema de proteção do gerador</b>	UG 04	5	1	1	1	2	5	9	3,7486	86	A
<b>1.4.4.8</b>	<b>Radiadores (4)</b>	UG 04	3	1	1	1	1	1	9	2,6924	157	B
<b>1.4.5.1.</b>	<b>Tubulações</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	7	2,5656	178	B
<b>1.4.5.2.</b>	<b>Filtro autolimpante</b>	UG 04	3	1	1	1	2	3	4	2,2894	228	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
<b>1.4.5.3.</b>	<b>Filtro ciclone</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	4	2,2464	273	C
<b>1.4.5.4.</b>	<b>Válvula refrigeração W12</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	225	C
<b>1.4.5.5.</b>	<b>Válvula refrigeração motorizada 8"</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	5	2,3528	226	C
<b>1.4.6.1.</b>	<b>Regulador automático de tensão (AVR)</b>	UG 04	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	199	B
<b>1.4.6.2.</b>	<b>Retificadores controlados (2)</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	144	B
<b>1.4.6.3.</b>	<b>Sistema de disparo e controle</b>	UG 04	3	1	1	1	1	3	9	2,7784	145	B
<b>1.4.6.4.</b>	<b>Transformador excitação 2SA7</b>	UG 04	3	1	2	1	1	5	9	3,0297	116	A
<b>1.4.6.5.</b>	<b>Anéis coletores</b>	UG 04	2	1	1	1	1	5	5	2,0182	284	C
<b>1.4.7.1.</b>	<b>Mecanismo distribuidor</b>	UG 04	3	1	1	1	4	7	7	2,8666	125	B
1.4.7.2.1.	Cabeçote Kaplan	UG 04	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	168	B
1.4.7.2.2.	Bucha de cabeçote	UG 04	3	1	1	1	1	5	7	2,6516	169	B
1.4.7.2.3.	Mecanismo Kaplan	UG 04	7	1	5	1	2	7	7	5,1242	11	A
1.4.7.3.1.	Regulador eletrônico	UG 04	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	196	B
1.4.7.3.2.	Controle distribuidor	UG 04	2	1	1	1	1	5	9	2,4438	197	B
1.4.7.3.3.	Controle turbina	UG 04	2	1	1	1	2	5	9	2,4868	181	B
1.4.7.4.1.	Sistema de resfriamento de óleo	UG 04	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	154	B
1.4.7.4.2.	Sistema de pressurização de óleo	UG 04	3	1	2	1	1	3	7	2,7309	155	B
<b>1.4.8.1.</b>	<b>Válvula de enchimento</b>	UG 04	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	317	C
<b>1.4.8.2.</b>	<b>Válvula de drenagem</b>	UG 04	2	1	1	1	1	3	3	1,7194	313	C
<b>1.4.8.3.</b>	<b>Duto de sucção</b>	UG 04	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	60	A
<b>1.4.8.4.</b>	<b>Aro câmara</b>	UG 04	7	1	3	1	1	7	1	4,1122	61	A
<b>2.1.</b>	<b>Transformador elevador 7TR1</b>	Usina	9	1	3	1	1	7	9	5,8046	7	A
<b>2.2.</b>	<b>Transformador elevador 7TR2</b>	Usina	9	1	3	1	1	7	9	5,8046	8	A
<b>2.3.</b>	<b>Transformador elevador 7TR3</b>	Usina	9	1	3	1	1	7	9	5,8046	9	A
<b>2.4.</b>	<b>Transformador elevador 7TR4</b>	Usina	9	1	3	1	1	7	9	5,8046	10	A
<b>2.5.</b>	<b>Transformador elevador 8TR2</b>	Usina	9	1	3	1	1	5	1	4,8674	24	A
<b>3.1.</b>	<b>Drenagem e esgotamento da usina</b>	Usina	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	304	C
<b>3.2.</b>	<b>Drenagem e esgotamento da barragem</b>	Usina	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	305	C
<b>3.3.</b>	<b>Poço de drenagem</b>	Usina	3	1	1	1	1	5	1	2,0132	285	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
3.4.	Poço de esgotamento	Usina	3	1	1	1	1	5	1	2,0132	286	C
4.1.1.	Sistema de ar comprimido 8 bar	Usina	7	1	1	1	1	3	1	3,6096	107	A
4.1.2.	Sistema de ar comprimido 25 bar	Usina	7	1	1	1	1	3	3	3,8224	76	A
4.1.3.	Sistema de ar comprimido 64 bar	Usina	7	1	1	1	1	3	3	3,8224	77	A
4.2.	Elevador	Usina	5	1	1	1	1	1	1	2,6824	161	B
4.3.	EPC-EPI	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	330	C
4.4.	Estação de tratamento de água	Usina	3	1	3	1	1	1	1	2,1718	278	C
4.5.	Oficinas	Usina	3	1	1	1	1	1	1	1,8412	308	C
4.6.	Painel de comando comum UGs	Usina	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	318	C
4.7.	Sistema de resfriamento comum UGs	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	332	C
4.8.	Reserva técnica	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	331	C
4.9.	Separador água e óleo	Usina	2	1	5	1	1	3	1	2,1678	279	C
4.10.	Sistema de combate a incêndio	Usina	9	1	3	1	1	3	1	4,7814	30	A
4.11.	Sistema de comunicação e vigilância	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	336	C
4.12.	Ventilação e exaustão	Usina	1	1	1	1	1	3	1	1,0860	325	C
5.1.	Vigas pescadoras	Usina	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	306	C
5.2.	Pórticos	Usina	3	1	1	1	1	5	1	2,0132	287	C
5.3.	Ponte rolante	Usina	7	1	1	1	1	5	1	3,6956	87	A
5.4.	Talhas elétricas	Usina	3	1	1	1	1	3	1	1,9272	307	C
6.1.	Acessos	Usina	1	1	1	1	1	5	1	1,1720	323	C
6.2.	Barragem	Usina	9	1	9	1	1	9	1	6,0312	1	A
6.3.	Casa de força	Usina	9	1	1	1	1	7	1	4,6228	31	A
6.4.	Vertedouro	Usina	9	1	9	1	1	9	1	6,0312	2	A
6.5.	Tomada de água	Usina	9	1	2	1	1	7	1	4,7881	29	A
6.6.	Reservatório	Usina	9	1	2	1	5	5	1	4,8741	19	A
7.1.	Comporta de regulação	Usina	4	1	1	1	1	5	1	2,4338	198	B
7.2.	Comando e automatismo	Usina	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	319	C
8.1.	Baixa tensão CA	Usina	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	320	C
8.2.	Gerador auxiliar de emergência	Usina	1	1	1	1	1	5	1	1,1720	324	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
8.3.	Média tensão CA	Usina	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	103	A
8.4.	Quadros de iluminação	Usina	2	1	1	1	1	1	1	1,4206	322	C
9.1.	Sistema de abastecimento de energia	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	209	B
9.2.	Banco de baterias	Usina	3	1	1	1	1	3	3	2,1400	280	C
9.3.	Painel de distribuição	Usina	2	1	1	1	4	5	9	2,5728	170	B
9.4.	Retificadores	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	210	B
10.1.	Sensores e transdutores	Usina	3	1	1	1	1	1	1	1,8412	309	C
10.2.	Cabeamento	Usina	3	1	1	1	1	5	1	2,0132	288	C
10.3.1.	Painel monitoram. vibração M&D UG01	Usina	1	1	1	1	1	3	1	1,0860	326	C
10.3.2.	Painel monitoram. vibração M&D UG02	Usina	1	1	1	1	1	3	1	1,0860	327	C
10.3.3.	Painel monitoram. vibração M&D UG03	Usina	1	1	1	1	1	3	1	1,0860	328	C
10.3.4.	Painel monitoram. vibração M&D UG04	Usina	1	1	1	1	1	3	1	1,0860	329	C
10.4.	Rede de dados	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	333	C
10.5.	Computadores e servidores	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	334	C
11.1.1.	Painel de instrumentos da UG01	Usina	1	1	1	1	1	3	9	1,9372	297	C
11.1.2.	Painel de instrumentos da UG02	Usina	1	1	1	1	1	3	9	1,9372	298	C
11.1.3.	Painel de instrumentos da UG03	Usina	1	1	1	1	1	3	9	1,9372	299	C
11.1.4.	Painel de instrumentos da UG04	Usina	1	1	1	1	1	3	9	1,9372	300	C
11.1.5.	Painel 10F de serviços auxiliares	Usina	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	335	C
11.2.1.	Cubículo blindado 13,8 kV	Usina	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	104	A
11.2.2.	CCM-1 (2GH1)	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	211	B
11.2.3.	Painel sistema medição nível montante e jusante	Usina	2	1	1	1	1	3	1	1,5066	321	C
11.2.4.	Painel 1QCL - quadro com. local turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	229	C
11.2.5.	Painel 1CIPT - caixa interligação poço turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	230	C
11.2.6.	Painel 1CIVE - caixa interligação vedação	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	231	C
11.2.7.	Painel 1PIT - terminais da turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	232	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
11.2.8.	Painel 1QFL - quadro sistema freio e levantamento	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	233	C
11.2.9.	Painel PUH - controle unidade hidráulica	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	234	C
11.2.10.	Painel 1PTG - terminais gerador	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	235	C
11.2.11.	Painel 1PC - controle	Usina	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	200	B
11.2.12.	Painel 1PP - proteção	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	212	B
11.2.13.	Painel oscilógrafo 01	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	236	C
11.2.14.	Painel de comando de controle adução	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	237	C
11.3.1.	Cubículo blindado 13,8 kV	Usina	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	105	A
11.3.2.	CCM-2 (2GH2)	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	213	C
11.3.3.	Painel 2PIT - terminais da turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	238	C
11.3.4.	Painel 2QCL - quadro com. local turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	239	C
11.3.5.	Painel 2CIVE - vedação eixo	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	240	C
11.3.6.	Painel 2CIPT - caixa interligação poço turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	241	C
11.3.7.	Painel 2CIVE - caixa interligação vedação	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	242	C
11.3.8.	Painel 2QFL - quadro sistema freio e levantamento	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	243	C
11.3.9.	Painel de surtos	Usina	3	1	1	1	1	1	9	2,6924	158	B
11.3.10.	Painel PUH - controle unidade hidráulica	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	244	C
11.3.11.	Painel 2PTG - terminais gerador	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	245	C
11.3.12.	Painel 2PC - controle	Usina	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	201	B
11.3.13.	Painel 2PP - proteção	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	214	C
11.3.14.	Painel de comando de controle adução	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	246	C
11.4.1.	Cubículo blindado 13,8 kV	Usina	5	1	1	1	1	3	9	3,6196	106	A
11.4.2.	CCM-3 (2GH3)	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	215	C
11.4.3.	Painel 3QCL - quadro com. local turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	247	C
11.4.4.	Painel temperaturas turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	248	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(continua)

Cód.	Descrição	Local	S1	S2	A1	A2	D1	D2	R1	Nota final	Posição	Classe
11.4.5.	Painel 3CIPT - caixa interligação poço turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	249	C
11.4.6.	Painel 3CIVE - caixa interligação vedação	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	250	C
11.4.7.	Painel 3PIT - terminais da turbina	Usina	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	202	B
11.4.8.	Painel 3QFL - quadro sistema freio e levantamento	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	251	C
11.4.9.	Painel de surtos	Usina	3	1	1	1	1	1	9	2,6924	159	B
11.4.10.	Painel PUH - controle unidade hidráulica	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	252	C
11.4.11.	Painel 3PTG - terminais gerador	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	253	C
11.4.12.	Painel 3PC - controle	Usina	2	1	1	1	4	5	9	2,5728	171	B
11.4.13.	Painel 3PP - proteção	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	216	C
11.4.14.	Painel proteção de medição faturamento	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	254	C
11.4.15.	Painel de comando de controle adução	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	255	C
11.5.1.	CLP (partida e parada)	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	217	C
11.5.2.	Comando e sincronismo	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	218	C
11.5.3.	Instrumentação	Usina	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	203	B
11.5.4.	Instrumentação (temperatura, fluxo, pressão)	Usina	2	1	1	1	2	3	9	2,4008	204	B
11.5.5.	Medição SMF, indicação e sinalização	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	256	C
11.5.6.1.	Cubículo de proteção contra surto	Usina	3	1	1	1	1	1	9	2,6924	160	B
11.5.6.2.	Cubículo neutro	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	257	C
11.5.6.3.	CCM-4 (2GH4)	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	219	C
11.5.6.4.	Painel instrumentos turbina +4PIT	Usina	2	1	1	1	2	1	9	2,3148	227	C
11.5.6.5.	Painel instrumentos gerador +4PIG	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	258	C
11.5.6.6.	Painel bombas drenagem turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	259	C
11.5.6.7.	Painel serviço auxiliar 15kV	Usina	5	1	1	1	1	1	9	3,5336	108	A
11.5.6.8.	Painel seccionadora 2045	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	260	C
11.5.6.9.	Painel 4QR - controle unidade hidráulica	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	261	C
11.5.6.10.	Painel 4 BW3 sistema drenagem TT 2GH4	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	262	C

Tabela A.1 – Análise de criticidade para os ativos físicos da usina hidrelétrica

(conclusão)

<b>Cód.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Local</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>	<b>Nota final</b>	<b>Posição</b>	<b>Classe</b>
11.5.6.11.	Painel de surtos	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	263	C
11.5.6.12.	Painel medição nível óleo mancal guia turbina	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	264	C
11.5.6.13.	Painel 4QMT sistema lubrificação MGT	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	265	C
11.5.6.14.	Relé DBP (87B/50BF) do painel PB1 de proteção diferencial DJ 7044	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	266	C
11.5.6.15.	Painel 4PC controle	Usina	2	1	1	1	1	3	9	2,3578	220	C
11.5.6.16.	Painel 4PP proteção	Usina	2	1	1	1	2	5	9	2,4868	182	B
11.5.6.17.	Painel de comando de controle adução	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	267	C
<b>11.5.7.</b>	<b>Supervisório SSC: remotas e IHM's</b>	Usina	2	1	1	1	1	1	9	2,2718	268	C

Fonte: Autoria própria



## APÊNDICE B – PRIORIZAÇÃO DAS ORDENS DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO

Dedica-se este apêndice à apresentação das avaliações de desempenho das 71 ordens de serviço (OS) de manutenção em relação aos quatro critérios de priorização na Tabela B.1. Além disso, pode-se também observar o coeficiente de proximidade (CP) obtido pela aplicação do TOPSIS assim como a posição na ordenação de prioridade para cada uma das ordens de serviço.

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

(continua)									
Cód. OS	Descrição	Tipo	Sistema	COSM	CAFA	TOSM	TAE	CP	Posição
00018037	Substitua o cabo do pórtico de elevação do vertedouro	Preventiva	Pórticos	7	2,01	9	9,00	0,498	55
00018102	Inspeção trienal externa do acumulador hidráulico ar-óleo	Preditiva	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	7	8,21	0,517	54
00018163	Lubrificação dos elementos do pórtico de elevação a montante	Preventiva	Pórticos	3	2,01	9	7,92	0,518	53
00018186	Substituição de partes corroídas da grade de entrada de água	Corretiva	Adução	7	6,02	5	7,70	0,686	12
00018223	Inspeção trienal externa do acumulador de ar comprimido	Preditiva	Acumulador de ar comprimido	3	3,61	7	7,61	0,611	27
00018425	Análise do óleo lubrificante do mancal do gerador combinado	Preditiva	Mancal do gerador	1	2,99	7	7,42	0,554	36
00018656	Calibração do manômetro de pressão do acumulador de ar comprimido	Preventiva	Acumulador de ar comprimido	3	3,82	9	7,13	0,691	11
00018834	Inspeção elétrica do sistema de filtro autolimpante	Preditiva	Sistema de circulação de água	1	2,25	7	6,79	0,483	56
00018843	Filtragem de óleo lubrificante do reservatório do mancal do gerador combinado	Preventiva	Mancal do gerador	3	2,99	9	6,79	0,600	29
00019862	Corrigir o vazamento de ar na válvula do compressor 1 64 bar	Corretiva	Acumulador de ar comprimido	3	3,82	5	6,22	0,547	41

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

									(continua)
Cód. OS	Descrição	Tipo	Sistema	COSM	CAFA	TOSM	TAE	CP	Posição
00019963	Executar a análise de vibração no exaustor da sala do banco de baterias	Preditiva	Exaustores	1	1,09	7	6,12	0,404	65
00020396	Ajustar o sensor de nível da tampa da turbina	Corretiva	Turbina	1	4,08	5	5,90	0,588	30
00021158	Substituição das correias de transmissão do exaustor 01	Preventiva	Exaustores	3	1,09	9	5,81	0,456	60
00021245	Análise cromatográfica do óleo isolante	Preditiva	Transformador elevador 7TR1	3	5,80	7	5,71	0,827	2
00021269	Inspeção trienal interna do acumulador de ar comprimido 25bar	Preditiva	Compressor de ar comprimido	5	3,82	7	5,62	0,613	26
00021526	Análise do óleo lubrificante do sistema regulador de velocidade	Preditiva	Sistema regulador de velocidade	1	2,73	7	5,49	0,524	49
00021589	Inspeção elétrica de bombas de motor guia de turbina	Preditiva	Mancal da turbina	1	4,12	7	5,14	0,677	13
00021783	Inspeção elétrica do limpador de grades da entrada de água	Preditiva	Adução	1	2,77	7	4,86	0,527	48
00021925	Análise do óleo lubrificante do mancal guia da turbina	Preditiva	Mancal da turbina	1	4,12	7	4,76	0,675	14
00021940	Trocar o óleo lubrificante do compressor 1 8 bar	Preventiva	Compressor de ar comprimido	5	3,61	9	4,67	0,644	20
00021963	Limpeza dos painéis elétricos do equipamento de elevação	Preventiva	Pórticos	1	2,01	9	4,67	0,522	50
00022011	Inspeção elétrica do transformador elevador 7TR1	Preditiva	Transformador elevador 7TR1	1	5,80	7	4,45	0,834	1
00022141	Corrija o vazamento na unidade hidráulica do limpador das grades de entrada de água	Corretiva	Adução	5	2,77	5	4,42	0,409	64
00022229	Inspeção elétrica da válvula motorizada 8 "	Preventiva	Sistema de circulação de água	1	2,35	9	4,38	0,548	40
00022239	Executar a análise de vibração na bomba do motor regulador de velocidade 2	Preditiva	Sistema regulador de velocidade	1	2,73	7	4,38	0,521	51

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

(continua)

<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sistema</b>	<b>COSM</b>	<b>CAFA</b>	<b>TOSM</b>	<b>TAE</b>	<b>CP</b>	<b>Posição</b>
00022241	Inspeção elétrica da bomba do motor regulador de velocidade 2	Preditiva	Sistema regulador de velocidade	1	2,73	7	4,38	0,521	52
00022251	Limpeza dos elementos do sistema de excitação	Preventiva	Sistema de excitação	1	3,03	9	4,38	0,609	28
00022335	Substituição do sensor de temperatura 4 do mancal combinado	Corretiva	Mancal do gerador	3	3,91	5	4,32	0,551	38
00022489	Corrija o vazamento na unidade hidráulica do regulador de velocidade	Corretiva	Sistema regulador de velocidade	5	2,73	5	4,23	0,404	66
00022681	Balanceamento do rotor do exaustor 02	Preventiva	Exaustores	3	1,09	9	4,16	0,453	61
00022784	Lubrificação de elementos de limpador de grades de entrada de água	Preventiva	Adução	3	2,77	9	4,10	0,574	31
00022855	Calibração do medidor de pressão do acumulador hidráulico de ar-óleo	Preventiva	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	9	3,97	0,570	33
00023094	Lubrifique os rolamentos do motor da bomba de hidrante	Preventiva	Sistema de combate a incêndio	3	4,78	9	3,78	0,790	4
00023231	Corrija o vazamento de água no trocador de calor do mancal guia da turbina	Corretiva	Mancal da turbina	3	4,12	5	3,62	0,572	32
00023261	Executar a análise de vibração na bomba do motor do rolamento do gerador combinado	Preditiva	Mancal do gerador	1	2,99	7	3,56	0,545	42
00023346	Manutenção preventiva anual no compressor 1 64bar	Preventiva	Compressor de ar comprimido	5	3,82	9	3,37	0,662	15
00023357	Manutenção preventiva anual no compressor 2 64bar	Preventiva	Compressor de ar comprimido	5	3,82	9	3,37	0,662	16
00023582	Realizar a análise do circuito do motor no motobomba do mancal combinado	Preditiva	Mancal do gerador	3	2,99	7	3,25	0,531	47
00024023	Análise termográfica nos painéis e relés da turbina	Preditiva	Comando e automação	1	2,27	7	2,93	0,476	58
00024051	Análise termográfica nos painéis e relés do gerador	Preditiva	Comando e automação	1	2,27	7	2,93	0,476	59

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

(continua)

<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sistema</b>	<b>COSM</b>	<b>CAFA</b>	<b>TOSM</b>	<b>TAE</b>	<b>CP</b>	<b>Posição</b>
00024160	Executar a análise do circuito do motor na bomba 1 do motor regulador de velocidade	Preventiva	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	9	2,90	0,568	34
00024241	Corrija o vazamento de óleo no mancal combinado do gerador	Corretiva	Mancal da turbina	5	4,12	5	2,83	0,552	37
00024283	Substitua o sensor de temperatura 3 do sistema de excitação	Corretiva	Sistema de excitação	3	2,36	5	2,77	0,381	67
00024349	Inspeção elétrica de ponte rolante	Preditiva	Pórticos	1	3,70	7	2,64	0,619	25
00024386	Trocar os rolamentos da bomba motorizada 2 do mancal combinado do gerador	Corretiva	Mancal do gerador	5	2,99	5	2,64	0,427	63
00024440	Inspeção elétrica do compressor 1 25 bar	Preditiva	Compressor de ar comprimido	1	3,82	7	2,45	0,633	23
00024581	Manutenção preventiva anual no compressor 1 8bar	Preventiva	Compressor de ar comprimido	5	3,61	9	2,23	0,637	22
00024648	Manutenção preventiva na caixa de gaxeta da tampa da turbina	Preventiva	Turbina	3	4,08	9	2,23	0,703	7
00024649	Inspeção elétrica da bomba do motor da tampa da turbina da UG 01	Preditiva	Turbina	1	4,08	7	2,23	0,660	18
00024681	Modificar a posição da bomba do motor regulador de velocidade 2	Modificação	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	3	2,11	0,329	68
00024753	Análise termográfica do transformador elevador 7TR1	Preditiva	Transformador elevador 7TR1	1	5,80	7	2,08	0,814	3
00024762	Limpeza e regulagem do sensor indutivo da comporta de captação de água 02	Preventiva	Adução	1	4,47	9	2,04	0,756	5
00024810	Limpeza dos painéis elétricos dos portões de entrada de água	Preventiva	Adução	1	2,27	9	2,04	0,537	43
00024920	Lubrificação de elementos de ponte rolante	Preventiva	Pórticos	3	3,70	9	2,01	0,661	17
00025128	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico comporta de tomada de água 01	Preditiva	Adução	1	4,47	7	1,95	0,703	8

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

(continua)

<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sistema</b>	<b>COSM</b>	<b>CAFA</b>	<b>TOSM</b>	<b>TAE</b>	<b>CP</b>	<b>Posição</b>
00025136	Trocar o óleo lubrificante da unidade hidráulica	Preventiva	Adução	5	4,47	9	1,95	0,723	6
00025138	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico comporta de tomada de água 02	Preditiva	Adução	1	4,47	7	1,95	0,703	9
00025209	Inspeção do sistema de acionamento hidráulico comporta de tomada de água 03	Preditiva	Adução	1	4,47	7	1,95	0,703	10
00025248	Realizar a análise do circuito do motor nas bombas do motor do mancal guia	Preditiva	Mancal da turbina	3	4,12	7	1,92	0,651	19
00025259	Inspeção elétrica do sistema de excitação	Preditiva	Sistema de excitação	1	2,36	7	1,92	0,482	57
00025562	Inspeção elétrica do pórtico de levantamento a jusante	Preditiva	Pórticos	1	2,01	7	1,76	0,453	62
00025651	Limpeza dos painéis elétricos da turbina	Preventiva	Comando e automação	1	2,27	9	1,63	0,536	44
00025669	Testes de isolamento elétrico do rotor e estator	Preventiva	Gerador	5	3,66	9	1,63	0,640	21
00025749	Ajuste a posição da câmara de vigilância a jusante	Corretiva	Sistema de vigilância	1	1,00	5	1,57	0,313	69
00025779	Filtragem de óleo da unidade hidráulica	Preventiva	Sistema regulador de velocidade	3	2,73	9	1,51	0,564	35
00025841	Limpeza dos painéis elétricos do regulador de velocidade	Preventiva	Comando e automação	1	2,27	9	1,32	0,535	45
00025950	Instale o sistema de filtragem online para óleo lubrificante	Melhoria	Sistema regulador de velocidade	7	2,73	1	1,16	0,240	71
00025980	Reaperte as conexões do disjuntor no painel do regulador de velocidade	Preventiva	Sistema regulador de velocidade	1	2,27	9	1,16	0,535	46
00026005	Inspeção elétrica do compressor 1 64 bar	Preditiva	Compressor de ar comprimido	1	3,82	7	1,09	0,627	24

Tabela B.1 – Análise de priorização das ordens de serviço de manutenção

									(conclusão)
<b>Cód. OS</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sistema</b>	<b>COSM</b>	<b>CAFA</b>	<b>TOSM</b>	<b>TAE</b>	<b>CP</b>	<b>Posição</b>
00026091	Instalação de um acelerômetro para coleta de vibrações nas motobombas	Melhoria	Mancal do gerador	5	2,99	1	1,09	0,282	70
00026149	Trocar os rolamentos da bomba motorizada 1 do sistema regulador de velocidade	Preventiva	Sistema regulador de velocidade	5	2,73	9	1,00	0,551	39

Fonte: Autoria própria