

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MATHEUS PEREIRA DE SOUZA**

**PROPOSTA DE ANÁLISE DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS  
PARA O SETOR ELÉTRICO POR UM MODELO MULTICRITERIAL**

**FLORIANÓPOLIS, 2020.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MATHEUS PEREIRA DE SOUZA**

**PROPOSTA DE ANÁLISE DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS  
PARA O SETOR ELÉTRICO POR UM MODELO MULTICRITERIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:  
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng

**FLORIANÓPOLIS, 2020.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Souza, Matheus

**PROPOSTA DE ANÁLISE DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS  
PARA O SETOR ELÉTRICO POR UM MODELO MULTICRITERIAL / Matheus  
Souza ; orientação de Everthon T. Sica. - Florianópolis,  
SC, 2020.**

121 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico  
de Eletrotécnica.**

Inclui Referências.

**1. Gestão. 2. Ativo. 3. Risco. 4. Multicriterial.  
I. T. Sica, Everthon. II. Instituto Federal de Santa  
Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. III.  
Título.**

# PROPOSTA DE ANÁLISE DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS PARA O SETOR ELÉTRICO POR UM MODELO MULTICRITERIAL

MATHEUS PEREIRA DE SOUZA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 14 de Outubro, 2020.

Banca Examinadora:



---

Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.



---

Prof. Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.



---

Prof. Rubiara Cavalcante Fernandes, Dr. Eng.

Aos meus pais e ao meu irmão, Valdir, Sileide e Gustavo.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e meu irmão, por todo apoio e incentivo, por acreditar e fazer meus sonhos possíveis. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao IFSC, em especial ao Departamento de Eletrotécnica, pelos muitos momentos vividos e conhecimentos desenvolvidos durante todos esses anos.

Ao meu orientador, Everthon Taghori Sica, pela orientação, apoio e principalmente confiança, mesmo em momentos mais difíceis, durante esse período e no decorrer de todo o curso.

À Statkraft, em especial ao departamento de gestão de ativos, ao meu supervisor de estágio Diogo Scussel e ao diretor da área Thiago Tomazolli, pela oportunidade de conhecer e me desenvolver no tema escolhido para defesa do TCC.

A todos meus amigos e colegas, em especial a turma de 2013/1, pela amizade, apoio e parceria em todos os momentos.

Obstáculos não podem te parar.  
Se você topar com uma parede, não vire e desista.  
Descubra como escalá-la, passe por ela, trabalhe nisso.  
(Michael Jordan)

## RESUMO

A necessidade de obter operações mais eficientes, ao passo que sistemas operacionais se tornam mais complexos e multifuncionais, traz aos gestores o desafio de desenvolver e estabelecer processos organizacionais abrangentes e dinâmicos, que consideram diversos sistemas e interações entre componentes. Dentro das organizações são encontrados os ativos, que são itens que tem valor real ou potencial. Para o setor elétrico, a maximização da disponibilidade dos ativos representa melhores níveis de desempenho das companhias. A gestão de ativos, com seus requisitos apresentados na ABNT NBR ISO 55001, proporciona métodos para maximizar o valor dos ativos baseados na avaliação dos riscos. A necessidade dos gestores, em conjunto com os benefícios das boas práticas estabelecidas na norma ISO, promove um ambiente propício para utilização da análise de decisão multicriterial (MCDA), já que o método proporciona a inclusão de variáveis distintas (financeiras, técnicas, ambiental, risco, etc.), a fim de promover a escolha da melhor alternativa. Desta forma, é proposto um modelo de análise de gestão de ativos para o setor elétrico, com o objetivo de proporcionar aos tomadores de decisão uma análise de apoio para estabelecer o desempenho do ativo conforme requisitos técnicos, financeiros e atrelados à gestão de ativo. A técnica MCDA mais utilizada para este tipo de demanda é o processo de hierarquia analítica (AHP), que fornece uma estrutura para definir os critérios de avaliação das alternativas.

**Palavras-chave:** Gestão Ativos. Avaliação de Risco. Análise de decisão multicriterial. Avaliação de desempenho. Setor elétrico.

## ABSTRACT

The need for efficiency in operations, while operating systems become more complex and multifunctional, challenge managers to develop and establish comprehensive and dynamic organizational processes that consider many systems and interactions between components. Assets are items with real value or have the potential that can be found within organizations. On the electric power industry, the maximization of asset's availability represents better performance levels for companies. Asset management, with your requisites presented on ABNT NBR ISO 55001, propose methods to maximize asset value based on risk assessment. Manager's necessity together with the benefits of good practices established on ISO promotes a proper environment for multi-criteria decision analysis (MCDA), since this method provides the inclusion of different variables (financial, technical, environmental, risk, etc.), in order to find the best alternative. In that sense, an asset management analysis model is proposed for the electric power industry, with the objective to support decision-makers on reaching asset performance according to technical and financial requisites linked to asset management. The most used MCDA technique for this type of demand is the analytical hierarchy process (AHP), which delivers a structure to define criteria for alternative evaluation.

**Keywords:** Asset Management. Risk assessment. Multi-criteria decision analysis. Performance assessment. Electricity sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ativos de uma organização .....	19
Figura 2 – Linha do tempo – fases do ciclo de vida dos ativos .....	21
Figura 3 – Gestão de ativos – (a) balanço de interesses; (b) equilíbrio nas ações ...	22
Figura 4 – Principais termos da gestão de ativos.....	23
Figura 5 – Ciclo PDCA .....	24
Figura 6 – Estágio do ciclo de vida de ativos conforme ciclo PDCA .....	25
Figura 7 – Estrutura de gestão de ativos.....	27
Figura 8 – Modelo de implantação de um sistema de gestão de ativos .....	28
Figura 9 – Pilares para estruturação da política de gestão de ativos .....	29
Figura 10 – Integração de ferramentas de apoio.....	32
Figura 11 – Objetivos organizacionais alinhados com a gestão de ativos .....	35
Figura 12 – Indicadores referentes a implantação de um sistema de gestão de ativos .....	37
Figura 13 – Princípios, estrutura e processo para gestão de risco.....	39
Figura 14 – Categoria de riscos .....	40
Figura 15 – Hierarquização do gerenciamento de risco .....	40
Figura 16 – Processo de gestão de risco .....	41
Figura 17 – Análise da grava borboleta - esquema.....	42
Figura 18 – Matriz de risco .....	44
Figura 19 – Fluxo para avaliar riscos .....	45
Figura 20 – Estrutura setor elétrico brasileiro.....	46
Figura 21 – Sistema Interligado Nacional - 2024.....	47
Figura 22 – Perfil esquemático de usina hidrelétrica.....	49
Figura 23 – Barragem UHE .....	51
Figura 24 – Corte esquemático de um transformador de distribuição .....	53
Figura 25 – Processo de tomada de decisão .....	58
Figura 26 – Metodologia Delphi.....	59
Figura 27 – Diagrama esquemático FMEA/FMECA .....	61
Figura 28 – Cadeia de Markov embasado em índices de saúde.....	65
Figura 29 – Rede de comunicação para acompanhamento da condição de transformadores de potência .....	67
Figura 30 – Fases do MCDA .....	69

Figura 31 – Estrutura de decisão AHP .....	71
Figura 32 – Matriz de Comparação .....	72
Figura 33 – Estrutura de análise do sistema de gestão de ativos para o setor elétrico .....	75
Figura 34 – Prioridade de risco principais falhas - Transformador .....	80
Figura 35 – Gráfico C1.1 .....	100
Figura 36 – Matriz de comparação C1.1 .....	100
Figura 37 – Gráfico C1.2 .....	101
Figura 38 – Gráfico C1.3 .....	102
Figura 39 – Gráfico C1.4 .....	103
Figura 40 – Matriz de comparação C1.4 .....	103
Figura 41 – Gráfico C2.1 .....	104
Figura 42 – Matriz de comparação C2.1 .....	104
Figura 43 – Gráfico C2.2 .....	105
Figura 44 – Matriz de comparação C2.2 .....	105
Figura 45 – Gráfico C2.3 .....	106
Figura 46 – Matriz de comparação C2.3 .....	106
Figura 47 – Gráfico C3.1.1 .....	107
Figura 48 – Matriz de comparação C3.1.1 .....	107
Figura 49 – Gráfico C3.1.2 .....	108
Figura 50 – Matriz de comparação C3.1.2 .....	108
Figura 51 – Gráfico C3.2.1 .....	109
Figura 52 – Matriz de comparação C3.2.1 .....	109
Figura 53 – Gráfico C3.2.2 .....	110
Figura 54 – Matriz de comparação C3.2.2 .....	110
Figura 55 – Gráfico C3.3.1 .....	111
Figura 56 – Matriz de comparação C3.3.1 .....	111
Figura 57 – Gráfico C3.3.2 .....	112
Figura 58 – Matriz de comparação C3.3.2 .....	112
Figura 59 – Gráfico C3.4.1 .....	113
Figura 60 – Matriz de comparação C3.4.1 .....	113
Figura 61 – Gráfico C3.4.2 .....	114
Figura 62 – Matriz de comparação C3.4.2 .....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau de risco .....	45
Tabela 2 – Critérios de avaliação FMEA/FMECA.....	63
Tabela 3 – Nível de condição de ativos.....	64
Tabela 4 – Fatores de risco conforme normativas – Transformador de potência.....	68
Tabela 5 – Escala numérica AHP com interpretação linguística .....	71
Tabela 6 – Índices de consistência aleatória.....	73
Tabela 7 – Descritores .....	76
Tabela 8 – C1.1 – Potencial consequência .....	79
Tabela 9 – C1.4 – Análise de condição.....	81
Tabela 10 – C2.1 – Custo de operação e de capital .....	82
Tabela 11 – C2.2 – Custo de Substituição .....	84
Tabela 12 – C2.3 – Oportunidade .....	85
Tabela 13 – C3.1.1 – Comprometimento da liderança.....	86
Tabela 14 – C3.1.2 – Engajamento da equipe .....	87
Tabela 15 – C3.2.1 – Nível de informação .....	88
Tabela 16 – C3.2.2 – Qualidade de informação .....	89
Tabela 17 – C3.3.1 – Competência técnica .....	89
Tabela 18 – C3.3.2 – Nível de integração .....	90
Tabela 19 – C3.4.1 – Efeitos socioambientais .....	91
Tabela 20 – C3.4.2 – Efeitos regulatórios .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic hierarchy process*

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BSI – *British Standard Institute*

CAPEX – *Capital Expenditure*

ECA – *Equipment Criticality Analysis*

GIS – Geographic information system

IAM – *Institute of Asset Management*

ISO – *International Organisation for Standardisation*

LCC – *Life cycle costs*

MCDA – *Multi-criteria decision analysis*

OPEX – *Operational Expenditure*

PAS – *Publicly Available Specification.*

PDCA – *Plan-do-check-act.*

PV – Ponto de vista.

RCM - *Reliability-centered maintenance*

SAMP – *Strategic Asset Management Plan*

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SIN – Sistema Interligado Nacional

TCO – *Total cost of Ownership*

UHE – Usina hidrelétrica

VPL – Valor presente líquido

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

FMECA – *Failure Mode Effect Criticality Analysis*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Definição do Problema</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>17</b>
1.3.1	Objetivo Geral .....	17
1.3.2	Objetivos Específicos .....	17
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE ATIVOS</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>ABNT NBR ISO 55001</b> .....	<b>26</b>
2.1.1	Implantação.....	28
2.1.1.1	<i>Liderança</i> .....	29
2.1.1.2	<i>Planejamento</i> .....	30
2.1.1.3	<i>Apoio</i> .....	31
2.1.1.4	<i>Operação</i> .....	32
2.1.1.5	<i>Avaliação do desempenho</i> .....	33
2.1.1.6	<i>Melhoria</i> .....	34
2.1.2	Objetivos .....	35
2.1.3	Benefícios, aplicações de sucesso e resultados .....	36
<b>2.2</b>	<b>GESTÃO DE RISCOS</b> .....	<b>38</b>
2.2.1	Processo de gestão de risco .....	41
2.2.1.1	<i>Avaliação de riscos</i> .....	42
2.2.1.2	<i>Métodos de avaliação dos riscos</i> .....	43
<b>3</b>	<b>ATIVOS DO SETOR ELÉTRICO</b> .....	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Ativos principais</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Ativos críticos</b> .....	<b>51</b>
3.2.1	Transformadores de potência .....	52
3.2.2	Seleção de ativos críticos.....	55
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE DESEMPENHO</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>MÉTODO DELPHI</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>FMEA/FMECA</b> .....	<b>60</b>
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISE DE MARKOV</b> .....	<b>63</b>
<b>4.4</b>	<b>Manutenção Centrada na Confiabilidade</b> .....	<b>65</b>
4.4.1	Análise de condição .....	66
<b>4.5</b>	<b>Análise de decisão Multicriterial</b> .....	<b>68</b>
4.5.1	Processo de análise de hierarquia (AHP) .....	70
<b>5</b>	<b>MODELAGEM PROPOSTA</b> .....	<b>74</b>
<b>5.1</b>	<b>Estrutura do modelo</b> .....	<b>75</b>
5.1.1	Pontos de vista fundamentais .....	76
5.1.1.1	<i>Técnico</i> .....	77
5.1.1.2	<i>Financeiro</i> .....	77
5.1.1.3	<i>Política de gestão de ativos</i> .....	77
5.1.2	Descritor.....	78
5.1.3	Avaliação do modelo .....	92
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>94</b>

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>95</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>99</b>
APÊNDICE A – C1.1 – Potencial de consequência .....	100
APÊNDICE B – C1.2 – Taxa de falhas.....	101
APÊNDICE C – C1.3 – Nível de degradação.....	102
APÊNDICE D – C1.4 – Análise de Condição .....	103
APÊNDICE E – C2.1 – Custo de operação e capital.....	104
APÊNDICE F – C2.2 – Custo de substituição .....	105
APÊNDICE G – C2.3 – Oportunidade .....	106
APÊNDICE H – C3.1.1 – Comprometimento da liderança .....	107
APÊNDICE I – C3.1.2 – Engajamento da equipe.....	108
APÊNDICE J – C3.2.1 – Nível de informação .....	109
APÊNDICE K – C3.2.2 – Qualidade de informação .....	110
APÊNDICE L – C3.3.1 – Competência técnica .....	111
APÊNDICE M – C3.3.2 – Nível de integração.....	112
APÊNDICE N – C3.4.1 – Efeitos socioambientais .....	113
APÊNDICE O – C3.4.2 – Efeitos regulatórios .....	114
<b>ANEXOS</b>	<b>115</b>
ANEXO A – TABELA COM METÓDOS PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS.....	116
ANEXO B – FLUXO PARA TOMADA DE DECISÃO BASEADO NO DESEMPENHO DO ATIVO .....	118
ANEXO C – MODELO PARA INDICAR OS DIFERENTES PARAMÊTROS QUE IMPACTAM O CUSTO DO E/kWh.....	119

## **1 INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento e acompanhamento de atividades, processos, manutenção e desempenho, em um cenário organizacional, são executadas por diversas empresas no mundo como forma de gerir a organização, contudo existem casos de sucessos e padrões que demonstram boas práticas aplicadas para maximizar a gestão operacional das empresas.

Existem padrões reconhecidos internacionalmente para estabelecer essas boas práticas, é possível citar, ISO9001:2015 – Gestão da Qualidade; ISO14001:2015 – Gestão do Meio Ambiente; ISO31000:2018 – Gestão do Risco; e ISO55001:2014 – Gestão de Ativos. Entretanto, não existe obrigatoriedade do cumprimento dessas recomendações, como é o caso de regulamentações e leis atribuídas a cada área de atuação (LIMA; DE LORENA; COSTA, 2018).

No Brasil houve a tropicalização das normas ISO31000:2018, que se tornou ABNT NBR ISO 31000:2018, e ISO55001:2014 que se tornou ABNT NBR ISO 55001:2014.

No contexto que as empresas estão inseridas, como social, ambiental, tecnológico e econômico, são ambientes incertos que modificam com o passar do tempo (ABNT, 2012) e alteram as condições pré-estabelecidas. O que demonstram a importância de fazer uma boa gestão.

### **1.1 Definição do Problema**

As condições dos ativos de uma organização são fatores preponderantes para o bom desempenho dela. Por isso que a gestão de ativos, que busca maximizar o valor do ativo, ao passo que atende os requisitos legais (LIMA; DE LORENA; COSTA, 2018), vem crescendo nos últimos anos.

A crescente utilização de boas práticas de gestão de ativos principalmente para companhias que fazem uso intensivo dos ativos – que tem um vínculo muito forte entre desempenho e ativos (empresas do setor elétrico são ativo-intensivas), ocorre exatamente porque as empresas ganham uma forma eficiente de gerir, que

desenvolve e fortalece as chances de sucesso da organização (FECHO, 2012; ZAMPOLLI; MARITNS; TANAKA, 2016). Por isso que especialistas e tomadores de decisão, que estão no dia a dia das empresas, devem estabelecer os processos de gestão de ativos e os aspectos regulatórios que devem ser seguidos. Além do mapeamento das incertezas, conforme é visto em normas de boas práticas de gestão, em que fazem uso conjunto da gestão de ativos e da gestão de risco (LIMA; DE LORENA; COSTA, 2018).

Outro fator a ser considerado são os clientes, pontos fundamentais para o sucesso das companhias, suas demandas devem ser estudadas e atendidas, para tanto, deve-se desenvolver processos e produtos mais qualificados e flexíveis, ao mesmo tempo que, os preços devem ser baixos e as entregas rápidas. O caminho para alcançar os objetivos passa pela formalização de políticas, processos e princípios para garantir a gestão e operação correta (NOVICKÁ; PAPCUN; ZOLOTOVÁ, 2016). O cliente é uma das partes interessadas dentro de uma organização, como é o caso de investidores, acionistas, órgãos reguladores, colaboradores, etc., também é utilizado o termo em inglês “*stakeholders*” para definir as partes interessadas.

Todos esses fatores tornam um modelo de gestão de ativos complexo e amplo, estendendo ao fato que as empresas tomam decisões regularmente de como agir em relação aos ativos, processos e com as *stakeholders*, assim, a necessidade de um ambiente dinâmico de trabalho cresce. Para tanto, Petchrompo e Parlikad (2019) afirmam que, enquanto, o modelo tradicional de se avaliar os ativos enxergar o ativo em uma única dimensão, o modelo de multi-ativos busca formatos de fornecer informações para tomadores de decisão, e considera que os ativos, mesmo não estando conectados diretamente, são determinantes para a performance e confiabilidade de outros, e suas consequências são sentidas por todas as partes interessadas.

A preocupação em obter sistemas dinâmicos incentiva pesquisadores a desenvolver métodos para ampliar a interação entre sistemas de multi-ativos, em que de um lado se encontra a necessidade de informatização e processamento dos *inputs*, do outro se busca concordância com políticas e a conexão de componentes, a fim de estabelecer novos níveis de eficiência e confiabilidade (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019). Assim, as recomendações presentes na ABNT NBR ISO 55001 podem ser

utilizadas como ferramentas para definições e construção de um modelo que entregue análises das condições dos ativos e auxilia na composição de uma tomada de decisão.

## 1.2 Justificativa

A energia elétrica é um componente essencial para vida moderna. Encontrar modelos eficientes de eletrificação é crucial para o desenvolvimento e atendimento do desempenho operacional e segurança de fornecimento, o que garante “flexibilidade, expansibilidade, seletividade de falhas, imunidade a interferências entre as partes do sistema, facilidade de manutenção de todas as partes do sistema.” (PARISE *et al.*, 2017).

Para atender a demanda de energia elétrica, empresas do setor buscam a integração entre disponibilidade dos equipamentos e a qualidade de fornecimento de energia, com menores custos operacionais, já que, segundo Bautista (2019), grande parte do capital das empresas é utilizado em custos de operação e manutenção. No estudo apresentado por Lucio, Nunes e Teive (2009), eles destacam que os agentes de transmissão no Brasil são pressionados a manterem padrões altos de confiabilidade e disponibilidade, com um perfil de falha definido em duração e frequência, a fim de não sofrer restrições econômicas e conseguirem garantir a entrega de energia mesmo com os aumentos de demanda. Sendo que, as falhas são fatores que desequilibram a competitividade entre empresas do setor (MAMEDE; MAMEDE, 2013).

Os agentes econômicos do setor elétrico necessitam de premissas para selecionarem as melhores escolhas, a fim de manter os critérios técnicos e reduzir os custos operacionais, sem que ocorra qualquer tipo de penalidade ou aumento circunstancial dos riscos assumidos.

Historicamente, a principal variável de decisão era o tempo de vida do ativo, em que quanto mais velho o ativo, maior a probabilidade de falha, no entanto condições de instalação e condições de operação podem vir a alterar esse perfil tornando o ativo mais ou menos seguro. Existem outros fatores determinantes para a probabilidade de falha, questões como: ambiente, avaliação de sobressalentes, taxa de falha, etc. (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012).

Nesse contexto é preciso encontrar formas de equilibrar todas as variáveis. O modelo multicriterial é uma dessas formas, pois viabiliza formatos analíticos e otimizados para tomada de decisão sobre ativos, principalmente, quando é necessário priorizar investimentos, já que cada alternativa de investimento proporciona diferentes resultados nos indicadores das empresas (TAMIMI; BEULLENS; SADNICKI, 2016).

Para tanto, a implantação de um modelo multicriterial, em conjunto com as recomendações da ABNT NBR ISO 55001, para análise da condição dos ativos do setor elétrico se mostra uma forma eficiente e confiável para os tomadores de decisão utilizarem, construindo assim processos eficientes e sustentáveis. Afinal, conforme Lima, De Lorena e Costa (2018), as empresas presentes no setor elétrico enfrentam situações em que são exigidas a apresentarem conhecimentos específicos, dinamismo, multifuncionalidade e integração das áreas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma estrutura de modelo de apoio à análise de desempenho dos ativos do setor elétrico, por meio da análise de decisão multicriterial e requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) analisar os parâmetros abordados na ABNT NBR ISO 55001;
- b) analisar os requisitos de gestão de ativos;
- c) definir os principais ativos do setor elétrico;
- d) definir os métodos para avaliação de desempenho;
- e) definir os parâmetros para abordar a gestão de ativos do setor elétrico;
- f) modelar os critérios de avaliação.

## 1.4 Estrutura do trabalho

A monografia está organizada em 6 capítulos. No primeiro capítulo é apresentado uma introdução ao tema, em que são definidos a delimitação do problema, justificativa da abordagem e objetivos propostos.

No capítulo 2 é realizado a revisão bibliográfica, abordando as definições de ativo e normas aplicáveis, além de apresentar os requisitos e benefícios da implantação de um sistema de gestão de ativos e casos de sucesso, conforme especificações presentes na ABNT NBR ISO 55001 e ABNT NBR ISO 31000.

No capítulo 3 é descrito o setor elétrico brasileiro, informando as principais características e os principais ativos, neste capítulo é definido o ativo crítico, apresentando indicações de como selecionar esse ativo e indicando as características e atributos do transformador de potência.

O capítulo 4 apresenta os principais métodos de avaliação de desempenho, além dos princípios de aplicação. Neste capítulo, também, é abordado as características e formas de aplicação da análise de decisão multicritério, explicando como construir os pontos de vista fundamental e elementar como também os seus descritores (critérios).

O capítulo 5 apresenta a estruturação realizada para o modelo multicritério de análise de desempenho da gestão de ativos para o setor elétrico, elucidando a construção de cada ponto de vista fundamental e elementar como também dos seus descritores (critérios).

As conclusões acerca do modelo são dispostas no capítulo 6. Por fim, as referências são apresentadas.

## 2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE ATIVOS

Ativos podem ser definidos de acordo com as organizações e métodos de negócio, para a ABNT NBR ISO 55001, um ativo é:

Um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. O valor irá variar entre diferentes organizações e suas partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro. (ABNT, 2014a).

O modo que são classificados os ativos depende das suas características, podem ser ativos físicos – são aqueles concretos, como: barragens, transformadores, escritório, entre outros; ativos humanos – são descritos como níveis de qualificação e comprometimento da equipe; ativos financeiros – abrangem as receitas, despesas, poder de investimento, etc.; ativos intangíveis – normalmente, são ligados às *stakeholders* e abrangem a reputação da empresa no ambiente externo e interno e imagem; e ativos de informação – são os dados referentes a empresa, desempenho dos ativos, resultados financeiros, e estão em um formato digital. Na Figura 1, observa-se que os ativos físicos são a parte central para uma organização e os outros tipos de ativos atuam ao redor para garantir que as organizações possam atingir seus objetivos (FECHA, 2012).

**Figura 1 – Ativos de uma organização**



Fonte: Fecha (2012).

Para interação com os ativos é importante saber, além do tipo, as ligações e efeitos que estes causam na organização de forma a criar sistemas de ativos para análises mais próximas da realidade. Segundo Petchrompo e Parlikad (2019),

sistemas podem ser genericamente classificados baseados na dependência de seus integrantes: por critérios econômicos – em que afetam negativamente ou positivamente as despesas gerais; por critérios estocásticos – falha na interação entre componentes; e por critérios de dependência estrutural – em que a necessidade de interação em um membro reflete na necessidade de interação de outro, podendo ser dividido em aspectos técnicos ou de performance (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

O termo “frota” é utilizado para caracterizar sistemas de ativos dentro de um conjunto padrão, em que estes tenham similaridade presentes dentro de atividades de intervenção, inspeção e manutenção, caracterizando um grupo homogêneo. Pode ser aplicado para ativos com funções semelhantes ou que operam em condições similares. (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

Para sistemas de ativos heterogêneos, é aplicado o termo portfólio. Essa nomenclatura vem do ambiente financeiro, em que caracterizava um conjunto de diferentes investimentos com o mesmo proprietário. A ABNT NBR ISO 55001 introduziu o termo no ambiente de gestão de ativos, em que define portfólio de ativos como:

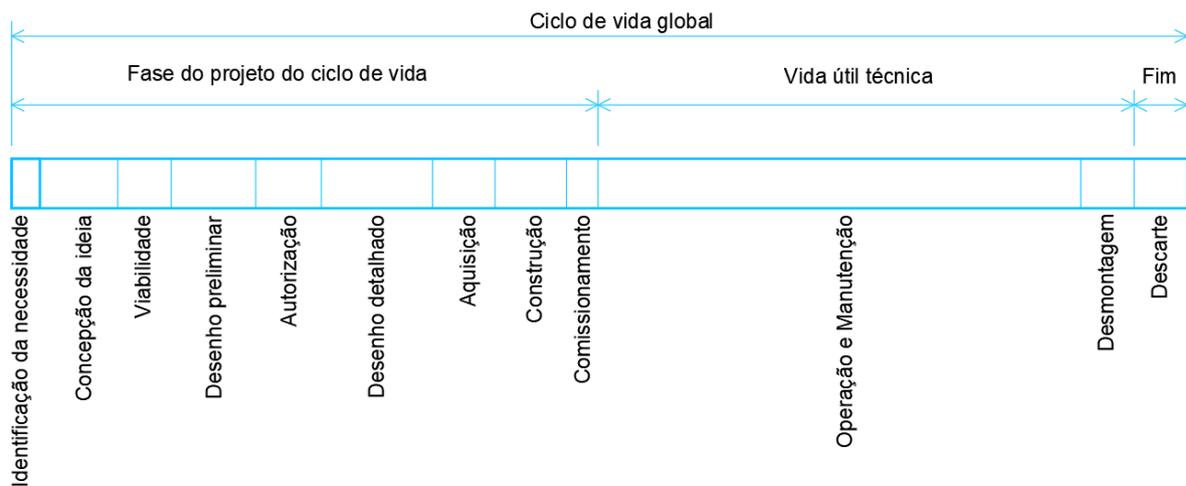
i) grupo de ativos com mesmo proprietário; ii) ativos localizados em diferentes locais de operação; iii) ativos com mesma categoria, mas com diferentes recursos – portfólio de categoria única; ativos com diferentes categorias – portfólio de múltiplas categorias; iv) ativos com diferentes tipos de intervenção. (PETCHROMPO; PARLIKAD,2019).

Conforme o tipo e o grupo que o ativo está inserido, o método de abordagem é alterado. Então, durante toda a vida útil do ativo, devem existir planos e métodos para garantir a disponibilidade do sistema conforme desempenho dos ativos. Por isso a importância de agrupá-los, pois assim são criadas formas de intervenção para o contexto e não para as circunstâncias.

O ciclo de vida do ativo começa em sua concepção e vai até o seu descarte final, sendo de responsabilidade do dono do ativo o correto descarte. O ativo, durante sua vida útil, pode pertencer a mais de uma organização (ABNT, 2014a). O dono do ativo, ou proprietário do ativo pode ser chamado também de “*asset owner*”, termo de origem inglesa.

Fecha (2012) explica que o ativo nasce com o surgimento de uma necessidade, vai para o processo de especificação e definição de contexto, percorrendo processos de “construção ou aquisição, operação, manutenção e desativação”, a Figura 2 apresenta esses processos em uma linha do tempo. Conhecendo todas as fases do ciclo de vida do ativo é possível pensar em cada momento e otimizar os custos de cada ciclo.

**Figura 2 – Linha do tempo – fases do ciclo de vida dos ativos**



Fonte: Adaptado Fecha (2012).

Os custos estão relacionados aos termos em inglês *CAPEX* (*Capital Expenditure*) e *OPEX* (*Operational Expenditure*). Custos de capital (*CAPEX*) são os custos com aquisição e instalação do ativo, e possíveis modificações ou prorrogações da vida útil. Custos operacionais (*OPEX*) são os custos relacionados à operação e manutenção do ativo, como é o caso de custos com legislação, planejamento da manutenção, manutenção corretiva, gestão de risco, sobressalente e terceirização. “Normalmente, o *CAPEX* representa cerca de dois terços dos custos associados ao ciclo de vida do ativo. Deixando um terço do custo total para *OPEX*” (ALMA; KOENEN, 2016).

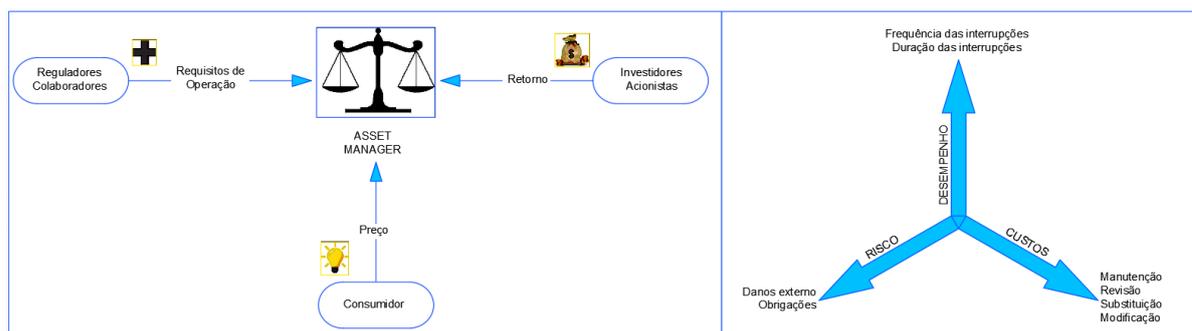
Os custos durante a operação de ativos estão relacionados a custos provenientes de paradas planejadas ou ações não planejadas, já que a disponibilidade e manutenibilidade impactam diretamente nos custos do ativo. As paradas planejadas geram custo devido a perdas de oportunidades, alteração da produção, indisponibilidade, perdas operacionais e impacta na qualidade e na segurança. As ações não planejadas resultam em custos com mão de obra (própria ou terceiros),

custos diretos de materiais e peças de reposição. Modelos de efeitos de degradação, também, são parte importante do processo de estabelecimento dos custos de um ativo (RODA; GARETTI, 2014).

A gestão do ciclo de vida do ativo tem que acompanhar os desgastes decorrentes com o passar dos anos de utilização, estratégias de melhores maneiras de atuação no ativo objetivam estender a vida residual e maximizar o retorno do investimento. Sabe-se que com o decorrer da idade do ativo a gestão do ciclo de vida torna-se cada vez mais primordial (LUCIO; NUNES; TEIVE, 2009). A gestão de ativos abrange a gestão do ciclo de vida do ativo (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012).

Durante o ciclo de vida dos ativos, os gestores precisam encontrar o balanço ótimo entre as partes presentes, conforme representação da Figura 3 (a). Enquanto consumidores buscam os menores preços para produtos e serviços de alta qualidade, órgãos reguladores e colaboradores priorizam a segurança de operação e do meio ambiente. Já os investidores e acionistas prezam pela operação dos ativos de modo a garantir maior retorno sobre os investimentos. Por tanto, como mostra a Figura 3 (b), o gerente de ativo deve trabalhar em três frentes, que são: desempenho – buscando o desempenho ótimo, não o máximo; risco – buscando o controle de níveis aceitáveis; e custos – buscando custos embasados em tomadas de decisão (FECHA, 2012).

**Figura 3 – Gestão de ativos – (a) balanço de interesses; (b) equilíbrio nas ações**

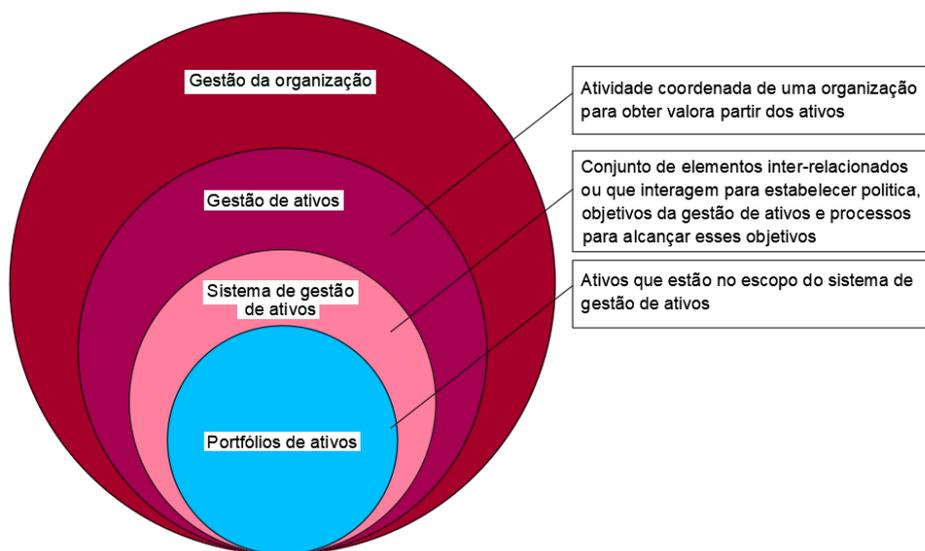


Fonte: Adaptado Fecha (2012).

Uma organização que busca o equilíbrio dos custos financeiros, ambientais e sociais, riscos, qualidade de serviço e desempenho relacionados aos ativos, tem na gestão de ativos uma ferramenta de apoio para atender seus objetivos organizacionais (ABNT, 2014a).

“A gestão de ativos traduz os objetivos das organizações em decisões, planos e atividades relacionadas aos ativos, utilizando uma abordagem baseada em riscos.” (ABNT, 2014a). Já o sistema de gestão de ativos fornece um meio de coordenar as unidades funcionais dentro de uma organização e fornecer condições para o cumprimento dessas atividades, haja vista os conjuntos de ferramentas presentes dentro deste sistema, tais como: políticas, planos, processos de negócios e sistemas de informações. Na Figura 4 é apresentado os termos relacionados ao processo de gestão de ativos (ABNT, 2014a).

**Figura 4 – Principais termos da gestão de ativos**



Fonte: Adaptado de ABNT (2014a).

As definições apresentadas na norma de padronização internacional de gestão de ativos foram embasadas nas definições encontradas na PAS 55. PAS (PAS - *Publicly Available Specification*) é uma especificação documental confeccionada pelo Instituto de Standard Britânico (BSI - *British Standard Institute*) que fornece boas práticas relacionadas aos temas propostos. A PAS 55, uma parceria entre o BSI e o Instituto de Gestão de Ativos (IAM - *Institute of Asset Management*), é uma especificação voltada para a gestão de ativos, que oferece as organizações um formato de estruturação e melhoria contínua dos processos organizacionais por meio de 28 pilares ao longo do ciclo de vida dos ativos. A visão da PAS 55 sobre a gestão de ativos, relaciona por meio de ações contínuas e estruturadas, o cumprimento dos objetivos organizacionais com a “gestão ótima e sustentável dos ativos e sistemas de ativos”, durante todo o ciclo de vida (FECHA, 2012). Também, pode ser definida como.

Um processo de maximização do retorno do investimento de um equipamento, através da maximização do desempenho e minimização do custo total do ciclo de vida do equipamento. (SHAHIDEHPOUR; FERRERO, 2005).

No trabalho diário de gerir os ativos, as organizações estão sujeitas a eventos incertos (intencionais ou não intencionais), que podem gerar consequências sociais, culturais, políticas e na imagem, bem como, trazer transtornos em estratégias de operação, processo e projetos (ABNT, 2012). A gestão de riscos fornece ferramentas para identificar, controlar e eliminá-los, se necessário, os efeitos indesejados.

Os conceitos de riscos e oportunidades fazem parte da gestão de ativos pois são atrelados com perda e agregação de valor, respectivamente. Então, é fundamental que os gestores de ativos tenham estabelecido uma estrutura, para demonstrar a relação entre o risco assumido e a geração de valor, na abordagem de gestão, e como parâmetros para tomada de decisão (ZAMPOLLI, 2018).

Para manter melhores condições de gestão a organização deve se concentrar no que é importante, reduzir e eliminar os desperdícios, defeitos, erros e acidentes; mapear as causas raízes; engajar funcionários. E manter o processo em estado de melhoria contínua (NOVICKÁ; PAPCUN; ZOLOTOVÁ, 2016). A PAS 55 prevê formas de implantar essas condições por meio do ciclo PDCA, a Figura 5 mostra essas relações (FECHA, 2012). O sistema PDCA é a base para um sistema de gestão e isso não difere em sistema de gestão de ativos (ZAMPOLLI, 2018).

**Figura 5 – Ciclo PDCA**



Fonte: Adaptado Fecha (2012).

Observa-se a distribuição do ciclo PDCA em quatro partes. Parte P (*Plan*), consiste em identificar e estruturar ações, critérios, contexto e planos para reduzir ou eliminar eventuais efeitos negativos e manter a funcionalidade de operação; Parte D – (*Do*) – executar o planejamento realizado na etapa anterior e apontar condições do sistema; Parte C – (*Check*) – avaliar e analisar condições estabelecidas na etapa anterior, se o realizado está entregando o que era previsto e se o contexto se mantém inalterado. Parte A – (*Act*) – agir se necessário, conforme indicação da etapa anterior (NOVICKÁ; PAPCUN; ZOLOTOVÁ, 2016; GROENEWALD; KLEINGELD; VOSLOO, 2015).

Na Figura 6, o ciclo PDCA é demonstrado em um formato para gestão de do ciclo de vida dos ativos relacionados aos ativos de distribuição de energia elétrica.

**Figura 6 – Estágio do ciclo de vida de ativos conforme ciclo PDCA**



Fonte: Adaptado de Hussin, Al-Mehairi e Al-Madhani (2016).

Na Figura 6 é observado que os tópicos planejamento e projeto, estão relacionados ao fato de “planejar” (da sigla “P” do PDCA). Em relação ao termo “fazer” (da sigla “D” do PDCA), são visualizados a maioria dos tópicos, que são suprimentos, construção, comissionamento, operação e manutenção. Então, chega-se aos dois últimos tópicos (da sigla “C” e “A” do PDCA), revisar e descartar.

A gestão de ativos é estabelecida por 3 normas. ISO55000:2014 – Visão geral, princípios e terminologia; ISO55001: 2014 – Sistemas de gestão - Requisitos; e ISO55002: 2014 – Sistemas de gestão - Diretrizes para a aplicação da ISO 55001: 2014. A ISO55001 é a parte da norma onde são encontrados os requisitos para o sistema de gestão de ativos em ambiente organizacional, tendo o papel chave para implantação das técnicas (LIMA; DE LORENA; COSTA, 2018). No Brasil é possível

encontrar a versão tropicalizada dessas normas, ABNT NBR ISO 55000:2014 – Visão geral, princípios e terminologia; ABNT NBR ISO 55001: 2014 – Sistemas de gestão - Requisitos; e ABNT NBR ISO 55002: 2014 – Sistemas de gestão - Diretrizes para a aplicação da ISO 55001: 2014. São baseadas nas versões brasileiras que esse trabalho foi construído.

## **2.1 ABNT NBR ISO 55001**

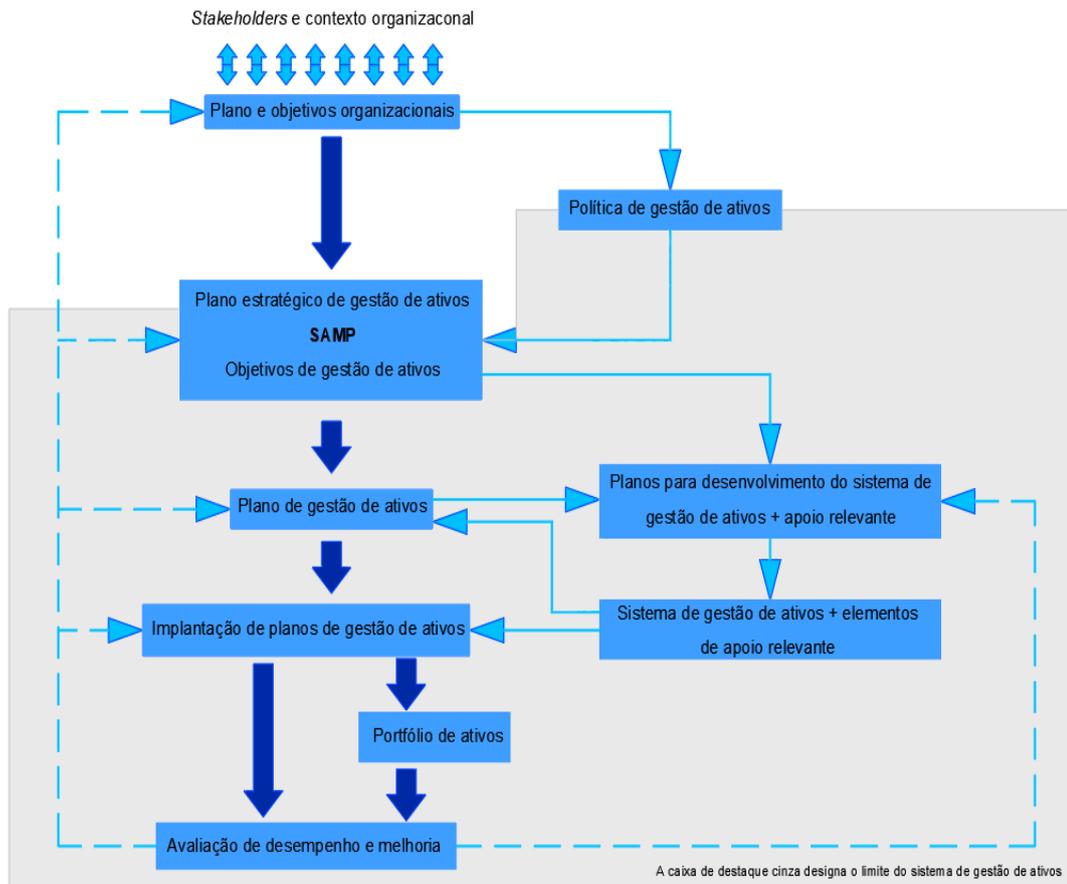
A ABNT NBR ISO 55001 tem como objetivo especificar os requisitos para um sistema de gestão de ativos dentro do contexto organizacional, e pode ser aplicado para todos os tipos de ativos e tamanhos de organização. O sistema de gestão de ativos é definido como um sistema de gestão para gestão de ativos (ABNT, 2014b).

Segundo ABNT (2014b), as organizações devem determinar as partes interessadas do processo (*stakeholders*), os requisitos e expectativas dessas partes, os critérios de tomada de decisão, o registro de informações financeiras ou não financeiras e o escopo.

Um dos principais requisitos é estabelecer a política de gestão de ativos de acordo com a política organizacional, sendo uma ferramenta para o contínuo aprimoramento de ações para cumprimento dos objetivos.

Para a construção de políticas de gestão de ativos é preciso estabelecer e documentar o plano estratégico de gestão de ativos (SAMP – *Strategic Asset Management Plan*). O SAMP, conforme Figura 7, tem o papel integrador entre os objetivos organizacionais e o processo de gerenciamento, então, é importante que este plano contenha os objetivos e descreva o papel do sistema de gestão no cumprimento destes, de modo que esteja estabelecido as atividades a serem executadas e os indicadores para acompanhamento. O acompanhamento e a avaliação do desempenho é outro ponto fundamental, tendo em vista a necessidade de medir os esforços e quantificar o resultado (ABNT, 2014a; ZAMPOLLI, 2018).

**Figura 7 – Estrutura de gestão de ativos**



Fonte: Adaptado de ABNT (2014a).

Na Figura 7 percebe-se que ocorre primeiro as definições, contextualizações e planejamento, em sequência, são executados os planos. Com as ações em andamento, são feitas as avaliações para verificar os parâmetros, bem como, observações que tendem a gerar a melhoria contínua do sistema, conforme ciclo PDCA.

Para alcançar melhores resultado de acordo com as recomendações estabelecidas na ABNT NBR ISO 55001, a ABNT (2014b) diz que um sistema de gestão de ativos tem que ser estruturado em pilares fundamentais, que são:

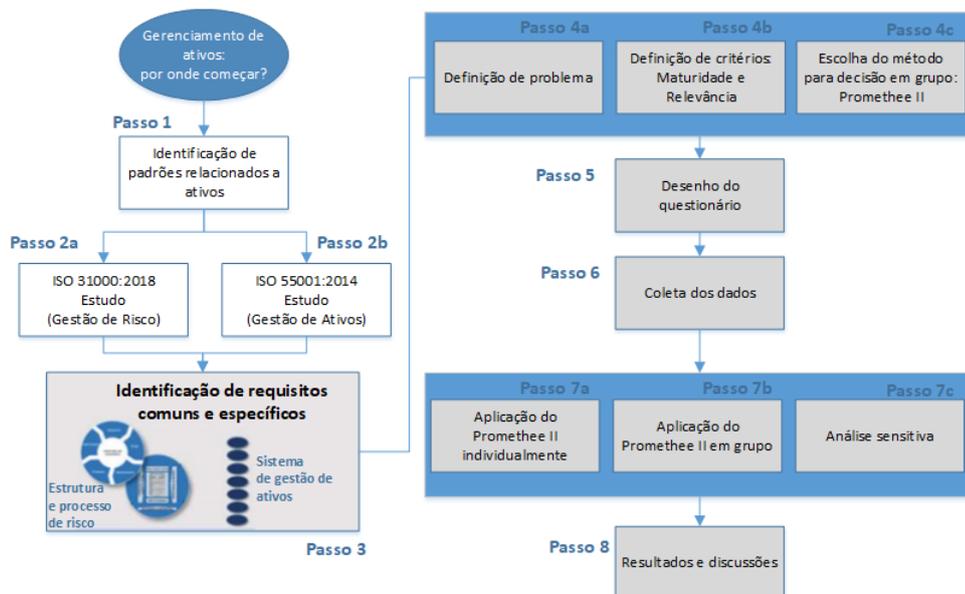
- a) liderança;
- b) planejamento;
- c) apoio;
- d) operação;
- e) avaliação do desempenho;
- f) melhoria.

### 2.1.1 Implantação

A implantação de um sistema de gestão de ativos eficaz e eficiente, com o intuito de atingir o equilíbrio desejado entre custos, riscos e desempenho, garante que os objetivos estratégicos corporativos, em um ambiente incerto, sejam alcançados de forma consistente e sustentável ao longo do tempo (ABNT, 2014a).

De acordo com Lima, De Lorena e Costa (2018), a implantação de um sistema de gestão de ativos pode ser efetuada em 8 passos, apresentados na Figura 8. No passo 1 são definidas as normas e padrões que tem relevância no contexto organizacional, nesse ponto, por critério de boas práticas, é incluído ABNT NBR ISO 55001 e ABNT NBR ISO 31000. No passo 2 é realizada a análise de condições e critérios estabelecidos pelas normas e padrões. No passo 3 são comparados os critérios e condições comuns. No passo 4 ocorre a definição dos problemas, critérios e métodos de tomada de decisão. No passo 5 são descritos os pontos a serem obtidos (questionário). No passo 6 é realizado a aquisição das informações. No passo 7 ocorre a tomada de decisão, por modelos multicritérios, neste caso, modelos da família PROMETHEE II. Por fim, no passo 8 são analisados os resultados.

**Figura 8 – Modelo de implantação de um sistema de gestão de ativos**



Fonte: Adaptado de Lima, De Lorena e Costa (2018).

Conforme detalhado na Figura 8, requisitos e informações são adquiridos e registrados a todo momento, o que acarreta a necessidade do uso de ferramentas

e *softwares* para consolidação. Um mecanismo muito utilizado para a gestão de ativos empresarial (*EAM - enterprise asset management*) são os módulos oferecidos pela empresa SAP, como é caso do módulo *ERP (Enterprise Resource Planning)* para o planejamento de recursos empresariais (MAHERDIANTA; RAMADHAN; EDWANTIAR, 2019).

A implantação das boas práticas de gestão de ativos deve ser estruturada e desenvolvida conforme os pilares fundamentais estabelecidos na ABNT NBR ISO 55001.

### 2.1.1.1 Liderança

Os cargos de liderança têm papel chave em um sistema de gestão. Eles têm que exercer a liderança, demonstrando comprometimento e estabelecendo a política de gestão de ativos. Assim, asseguram que as responsabilidades e autoridades para as funções relevantes sejam atribuídas e comunicadas dentro da organização (ABNT, 2014b).

A classe de executivos de uma empresa pode definir a política conforme a estratégia definida no processo de fabricação de classe mundial (*WCM - World Class Manufacturing*). O WCM se baseia em 10 pilares técnicos e 10 pilares gerenciais para construir o templo do WCM. Na Figura 9, são indicados os pilares (NOVICKÁ; PAPCUN; ZOLOTOVÁ, 2016).

**Figura 9 – Pilares para estruturação da política de gestão de ativos**



Fonte: Adaptado de Novická, Papcun e Zolotová (2016).

AES Tietê é um exemplo de aplicação da coordenação entre a estratégia organizacional e o plano de gestão de ativos, com base nos pilares apresentados na Figura 9. A AES Tietê é uma empresa do setor elétrico brasileiro, que conta com um portfólio de ativos compostos por usinas hidrelétricas, eólicas e solares, que somam uma potência instalada de 3.343 MW. Entre os anos de 2011 a 2014, conquistou a certificação da ABNT NBR ISO 55001 (AES, 2020).

Para formação da política, a AES estabeleceu seus pilares estratégicos e concluiu que a execução do pilar “Eficiência no uso de recursos e disciplinas na execução”, era ponto focal para estruturar a política de gestão de ativos dentro da organização. Então, montou uma estratégia para atingir esse objetivo por meio de processos de gerenciamento eficiente, fortalecimento da gestão de recursos humanos, aumento do nível de competência da equipe e premiação de suas conquistas, investimento em novas tecnologias, sistemas e soluções reconhecidos no mercado com melhores práticas (ZAMPOLLI; MARTINS; TANAKA, 2016).

#### *2.1.1.2 Planejamento*

Fazem parte do planejamento a determinação dos riscos e oportunidades presentes na organização, dos objetivos da gestão de ativos e dos planos para alcançá-los. Então, se definem ações que garantam que o sistema alcance os resultados pretendidos, previnam e reduzam riscos, e mapeiem oportunidades, buscando a melhoria contínua e adaptação ao longo do tempo. Os planos devem buscar e documentar (ABNT, 2014b):

- a) o método e os critérios de tomada de decisão e priorização de atividades e recursos para alcançar seus planos e objetivos;
- b) os processos e métodos a serem empregados ao longo do ciclo de vida;
- c) o que será feito;
- d) quais são os recursos necessários;
- e) quem será responsável;
- f) quando serão concluídos;
- g) como os resultados serão avaliados;
- h) os horizontes de tempo adequados para os planos;
- i) as implicações financeiras e não financeiras;

- j) o período de análise crítica;
- k) as ações para tratar os riscos e oportunidades, tendo em conta a forma como esses riscos e oportunidades podem mudar com o tempo, mediante estabelecimento de processo para:
  - identificação de riscos e oportunidades;
  - avaliação dos riscos e oportunidades;
  - determinação da significância dos ativos par ao alcance dos objetivos de gestão de ativos;
  - implementação de tratamento adequado, e monitoramento, dos riscos e oportunidades.

O plano é dividido em plano estratégico (5-10 anos) e em plano operacional (1 ano). O plano estratégico promove futuras expansões, modificações e requisitos de substituições, em que busca garantir o fornecimento a menores custos com o objetivo de manter a confiabilidade e disponibilidade. O planejamento operacional é uma etapa importante dentro do ciclo de vida do ativo, porque garante o desempenho ideal em termos de falhas, racionalizando as despesas e gerenciando o risco (HUSSIN; AL-MEHAIRI; AL-MADHANI, 2016).

#### 2.1.1.3 Apoio

É de suma importância que a estrutura de gestão de ativos tenha os recursos necessários para estabelecer, implantar, operar e se adaptar, entre os principais recursos, se destacam (ABNT, 2014b).:

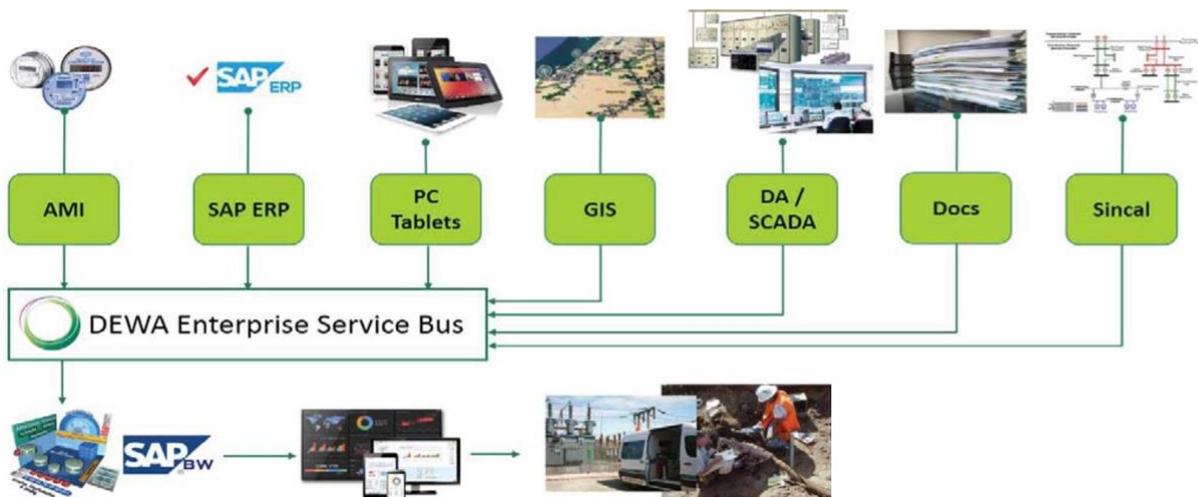
- i) corpo técnico qualificado, que quando necessário, faça treinamento para adquirir novas competências;
- ii) equipe consciente de sua importância e papel na organização;
- iii) processo de comunicação eficientes;
- iv) requisitos de informações para cumprimento de processos, seja para iniciar, seja para finalizar, ou para acompanhamentos periódicos;
- v) métodos para classificar e integrar informações.

Os *softwares* e ferramentas que fazem a consolidação das informações são um excelente exemplo de recurso para a gestão de ativos. Em Dubai, nos Emirados

Árabes Unidos, a *Dubai Electricity and Water Authority (DEWA)* se tornou uma das empresas de grande relevância governamentais a certificar-se na ISO 55001, em que foi atestado a integração de gerenciamento dos ativos relacionadas à geração, transmissão e distribuição de eletricidade e água. A DEWA, então, implantou um sistema gerencial que permite a concentração de informações para análise, atuação e criação de indicadores, o que transforma o dia a dia organizacional mais prático e produtivo.

Foi utilizado os módulos do *SAP*, sistema *SCADA*, *GIS* e *Sincal*, como ferramentas de aquisição de informações e gerenciais, onde é possível coletar as informações de condições operativas, desempenho, riscos associados, atividade a realizar, etc., além de manter um histórico dos ativos e acompanhamento em tempo real. A Figura 10 apresenta a interligação entre ferramentas de apoio utilizados pela *DEWA* (HUSSIN; AL-MEHAIRI; AL-MADHANI, 2016).

**Figura 10 – Integração de ferramentas de apoio**



Fonte: Novická, Papcun e Zolotová (2016).

No sistema integrado apresentado na Figura 10, características de saúde e segurança, de riscos, geográficas, de interrupções, de valores de pico, etc., chegam no sistema, o que permite a inclusão de inteligência no gerenciamento de ativo (HUSSIN; AL-MEHAIRI; AL-MADHANI, 2016).

#### 2.1.1.4 Operação

A operação é dividida em três partes (ABNT, 2014b):

- a) **Planejamento operacional:** é função dele realizar o planejamento, implementação e controle de processos, por meio de critérios estabelecidos, controles de conformidades, atestação dos processos, do tratamento e monitoramento dos riscos;
- b) **Gestão de mudanças:** é responsável por controlar as mudanças e evidenciar criticamente as consequências indesejadas, executando ações para mitigar quaisquer efeitos adversos;
- c) **Processo terceirizado:** é responsável por controlar os processos de terceiros, a fim de estabelecer escopo, responsabilidades e autoridades, ao mesmo tempo que avalia os riscos associados no cumprimento de seus objetivos da gestão de ativos.

Segundo Fecha (2012), durante a fase de operação e manutenção é preciso atuar de forma ativa, de modo que a organização consiga estabelecer as conexões e dependências; obter e atualizar o histórico, com informes de condição, desempenho e impacto; conhecer a forma de degradação, relação entre probabilidade de falha e redução da vida útil; e estabelecer o custo individual, valores atribuídos as intervenções.

#### *2.1.1.5 Avaliação do desempenho*

Na avaliação de desempenho, a organização deve-se preocupar em fazer (ABNT, 2014b):

- a) **Análise efetiva do desempenho:** essencial para definição do que deve ser medido e monitorado, dos métodos para obtenção dos resultados, da periodicidade de acompanhamento e dos resultados chaves para análise e avaliação. A resultante desse processo dará o desempenho dos ativos, o desempenho da gestão de ativos e a eficácia do sistema;
- b) **Auditorias:** fundamental para atestar conformidade com a norma, os requisitos internos e se o sistema está eficazmente implementado e mantido;
- c) **Análise crítica:** importante para mudanças de objetivos, informações de desempenho, oportunidades de melhoria e mudanças no perfil de riscos e oportunidades.

Na avaliação de desempenho, os valores medidos devem ser confrontados com os valores de orçamento, já que são fatores limitantes em uma organização. Por isso a necessidade de incluir a análise do custo do ciclo de vida (LCC – *life cycle costs*). LCC é um fator que considera todos os custos atrelados ao ativo em sua utilização, desde o investimento, os custos operacionais, os custos de energia, as manutenções, as reposições de peça, estoques mínimos, treinamentos, enfim, os valores de CAPEX e OPEX. Entretanto, há momentos que a análise do custo total de propriedade (TCO – *Total cost of Ownership*), que considera todos os valores presentes na análise LCC, mais os valores referentes aos benefícios, tem maior relevância (ZAMPOLLI, 2018).

Para as empresas ativos-intensivas o TCO tem ainda mais importância, pois possibilita formas de flexibilização da operação, por meio de atividades que “tenham maior impacto na eficiência de custos” e otimização do custo geral do ciclo de vida do sistema com referência ao desempenho, segurança, confiabilidade e capacidade de manutenção (RODA; GARETTI, 2014).

#### 2.1.1.6 Melhoria

A melhoria do sistema é pautada em ações de não conformidades e ações corretivas, ações preventivas e melhoria contínua. Métodos preventivos visam identificar, proativamente, potenciais falhas no desempenho dos ativos (ABNT, 2014b). Nessa etapa, o monitoramento contínuo do desempenho e condição do ativo tem função essencial (BAUTISTA, 2019).

Situações de não conformidade e ação corretiva ocorrem quando uma não conformidade ou incidente for identificado em ativos, gestão de ativos ou sistema de gestão de ativos. A organização, então, deve executar ações para controlar e corrigir, tratar consequências, analisar a causa, propor ações para evitar a situação problema, analisar solução, ajustar sistema de gestão e documentar lições aprendidas (ABNT, 2014b).

### 2.1.2 Objetivos

Os objetivos organizacionais são trabalhados com elo focal na gestão de ativos e estão presentes no SAMP (ZAMPOLLI; MARTINS; TANAKA, 2016). Na Figura 11 é possível verificar os pilares estratégico para construção dos objetivos.

**Figura 11 – Objetivos organizacionais alinhados com a gestão de ativos**



Fonte: AES (2020).

Os objetivos são estabelecidos pela liderança e são o reflexo dos pilares estratégicos das organizações. Não devem focar apenas em maximizar o desempenho, já que, conforme Li *et al.* (2010), a estratégia deve incidir sobre o todo, não somente em objetivos e metas pontuais. Afinal, não é recomendado investir em uma ação que gere retorno para uma parte interessada em detrimento de outra.

Os objetivos de gestão devem estar em conformidade com todas as definições e documentos do sistema de gestão de ativos, ser estabelecidos e atualizados usando critérios de tomada de decisão, ser mensuráveis (se aplicável) e ser monitorados (ABNT, 2014b).

Empresas do setor elétrico utilizam parâmetros de contexto e *targets* para acompanhamento e avaliação das interrupções do sistema como objetivos. Assim, o planejamento estratégico e organizacional busca reduzir as falhas, garantido um sistema mais confiável, eficaz e eficiente (MAMEDE; MAMEDE, 2013).

O grupo ISA, empresa responsável por controlar e operar a INTERCOLOMBIA, que é a linha de transmissão de energia na Colômbia (ISA INTERCOLOMBIA, 2020), tem dentro do seu plano de gestão, objetivo de incorporar novas tecnologias, práticas de operação segura e obter custos eficientes (BAUTISTA, 2019).

### 2.1.3 Benefícios, aplicações de sucesso e resultados

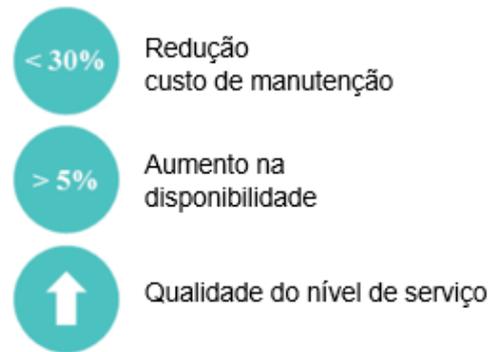
Dentre os principais benefícios, destacam-se (ABNT, 2014a):

- a) o desempenho financeiro: melhora do retorno sobre investimentos e redução dos custos;
- b) a decisões informadas sobre investimento em ativo: processos de decisão que equilibram custos, riscos, oportunidades e desempenho;
- c) o risco gerenciado: riscos mapeados e controlados;
- d) a melhoria de saídas e serviços: produtos/serviços mais confiáveis;
- e) a responsabilidade social demonstrada: melhora da imagem da empresa no contexto interno e externo;
- f) a conformidade demonstrada: as *stakeholders* ficam mais seguras em manter a relação com a empresa;
- g) a melhoria de imagem: melhora da satisfação do cliente;
- h) a melhoria da sustentabilidade organizacional: controle de curto e longo prazo para selecionar alternativas mais sustentáveis;
- i) a melhoria da eficiência e eficácia: objetivos organizacionais crescem à medida que os processos se tornam robustos e a análise tem um viés de criticidade.

A gestão de ativo não retira custos operacionais, mas pode ser uma ferramenta para diminuir ou postergar esses custos. Na Figura 12 são verificados os indicadores referentes à implementação de um sistema de gestão. Outros efeitos positivos são refletidos na organização, tais como: melhora no desempenho financeiro, decisões integradas, melhora na gestão de risco, aumento da reputação,

maior sustentabilidade organizacional e eficiência e eficácia otimizadas (ALMA; KOENEN, 2016).

**Figura 12 – Indicadores referentes a implantação de um sistema de gestão de ativos**



Fonte: Alma e Koenen (2016).

Segundo Zampolli, Maritns e Tanaka (2016), o resultado da implantação da certificação na AES trouxe uma maior integração das áreas técnicas e áreas de apoio, no ano subsequente ao ano de certificação foi observado uma redução de 8,0% com custos operacionais. Por prestar serviço de distribuição de energia, a AES foi reconhecida pelo ANEEL e teve o ajuste tarifário favorecido devido as boas práticas de gestão, o que aumentou suas receitas.

A implementação promovida pela *Royal Commission for Jubail*, órgão governamental da Arábia Saudita, responsável por manter, planejar e desenvolver a infraestrutura do *Jubail Industrial City*, o maior complexo industrial do Oriente Médio, trouxe novos benefícios a organização. Conceitos para a padronização de políticas e processos, aquisição de informações em tempo real, avaliação dos mecanismos, melhoria contínua e inclusão de ferramentas de lições apreendidas, foram agregados aos modelos de gestão existentes (ALKHURAISSI; ALWOHAIBI, 2016).

Alkhuraissi e Alwohaibi (2016) apontam que, entre as principais contribuições da implantação das boas práticas de gestão de ativos, foi observado o aumento da produtividade em 175%, o aumento da qualidade em 60%, a redução do tempo para resolução de atividades em 60%, a redução da taxa de falhas em 20% e a redução de 39% do custo com manutenção. Um dos principais fatores atribuídos foi a mudança de *mind-set* da equipe e *staffs*.

Os benefícios decorrentes da implantação das boas práticas de gestão de ativos, são maximizados quando há uma política de gestão de riscos robusta e abrangente dentro das organizações.

## 2.2 GESTÃO DE RISCOS

Risco é o “efeito da incerteza nos objetivos”, em que um efeito pode ter um teor positivo, negativo, ou ambos, e resultar em um ameaça ou uma oportunidade em relação aos objetivos (ABNT, 2018).

Os riscos podem ser encontrados como:

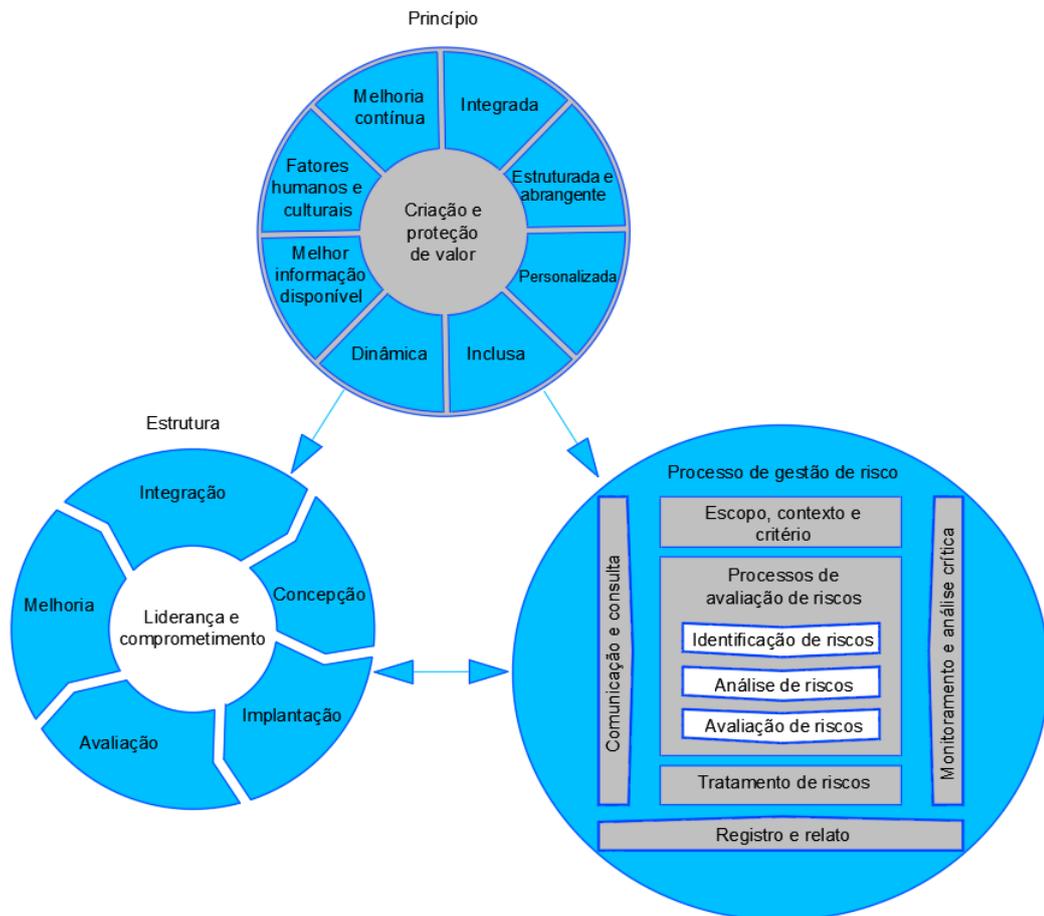
Fontes tangíveis e intangíveis; causas e eventos; ameaças e oportunidades; vulnerabilidade e capacidades; mudanças de contextos externos e internos; indicadores de riscos emergentes; natureza e valor dos ativos e recursos; consequências e seus impactos nos objetivos; limitações de conhecimento e de confiabilidade da informação; fatores temporais; e vieses, hipóteses e crenças dos envolvidos. (ABNT, 2018).

O estudo do risco é utilizado para quantificar e comparar a probabilidade e as consequências da falha ou de uma ação indesejável (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012). Como existem diversos riscos dentro de uma companhia, para melhor interpretação, é necessário a análise conjunta dos riscos ou a gestão de risco.

A ABNT NBR ISO 31000 estabelece os requisitos para a realização da gestão de risco, que auxilia no processo de identificação de oportunidades e ameaças, a fim de controlar efeitos negativos e positivos que geram incertezas na organização (LIMA; DE LORENA; COSTA, 2018).

Esse modelo de gestão visa estabelecer critérios coordenados para dirigir e controlar riscos de uma organização. A ABNT NBR ISO 31000 define como principais pontos a serem trabalhados, os princípios, a estrutura a ser aplicada e o processo de abordagem. Na Figura 13, é possível identificar essa divisão (ABNT, 2018).

**Figura 13 – Princípios, estrutura e processo para gestão de risco**



Fonte: Adaptado de ABNT (2018).

A gestão de riscos deve ser capaz de interagir com todas as atividades organizacionais, abordar grande parte da estrutura organizacional, considerar contextos internos e externos, contemplar os interesses das *stakeholders*, se alterar de acordo com as mudanças, transmitir e captar informações, integrar fatores humanos e culturais e fornecer melhoria contínua. Convém que o processo de gestão de riscos forneça critérios para a gestão organizacional e da tomada de decisão (ABNT, 2018). É perceptível que a implantação de um sistema de gestão de ativos ande em conjunto com os requisitos para implantação da gestão de risco.

A AES Tietê, em seu sistema de gestão de ativos, construiu um modelo para controle de eventos pautados em políticas internas de gestão, que foram elaborados com base nas melhores práticas adotados no mercado. O modelo realiza o mapeamento dos riscos e classifica-os em 10 categorias diferentes, conforme apresentado na Figura 14, os riscos são identificados, avaliados e priorizados de

acordo com a probabilidade e o impacto da consequência, então são elaborados planos de ação de mitigação para os mais significativos (AES, 2020).

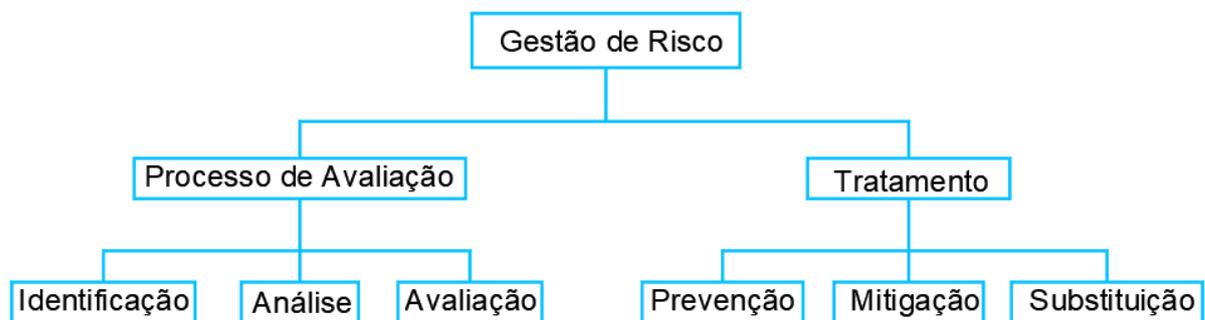
**Figura 14 – Categoria de riscos**



Fonte: AES (2020).

Os processos avaliativos são multidisciplinares e devem levar em consideração o contexto e os objetivos organizacional, o perfil de risco da organização, estrutura organizacional, os métodos e benefícios da avaliação de risco no processo de gestão de risco e os recursos disponíveis (ABNT, 2012). Syed e Lawryshyn (2020) afirmam que a utilização de modelos multicriteriais para gestão de risco é altamente recomendada. Na Figura 15 os autores estabelecem uma estruturação de hierarquização para a gestão de risco.

**Figura 15 – Hierarquização do gerenciamento de risco**



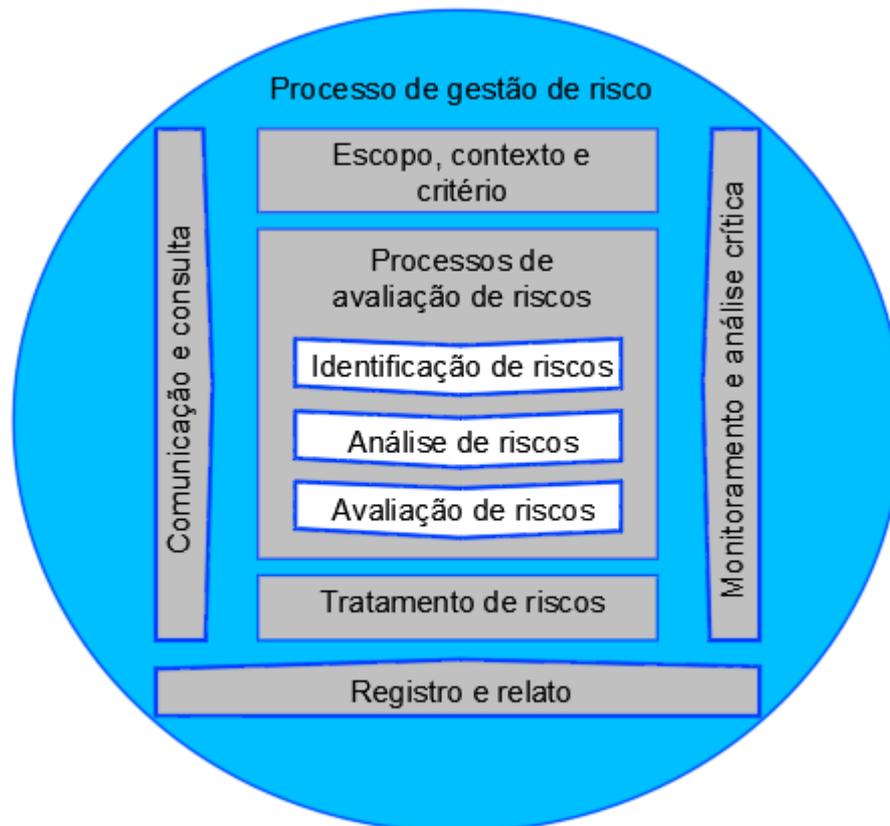
Fonte: Adaptado de Syed e Lawryshyn (2020).

A análise leva em consideração o processo de avaliação em conjunto com as ações de tratamento, o que torna a análise em linha com as boas práticas de gestão, afinal, um risco só é tratado se este tiver uma avaliação elevada em conjunto com uma ação de tratamento viável.

### 2.2.1 Processo de gestão de risco

O processo de gerenciamento de risco, descrito na Figura 16, auxilia na tomada de decisão (ABNT, 2012), e essa condição está muito relacionada ao processo de avaliação do risco, que consiste, em primeiro lugar, identificar, independente se este está ou não sobre o controle da organização. Em seguida, a análise é realizada para entender as incertezas presentes, a fonte causadora, as consequências, as probabilidades, os cenários possíveis e as medidas de controle. Por fim, são realizadas comparações entre os resultados e o contexto organizacional. A alternativa encontrada pode ser uma ação para tratamento, com fins de eliminação do risco ou diminuição da probabilidade de ocorrência ou efeito em cima os objetivos, ou simplesmente concluir que o risco está em um nível aceitável e que conviver com o risco é mais viável que o tratar (ABNT, 2018).

**Figura 16 – Processo de gestão de risco**



Fonte: Adaptado de ABNT (2018).

A avaliação de risco gera diversos benefícios em um ambiente de gestão, os principais são (ABNT, 2012):

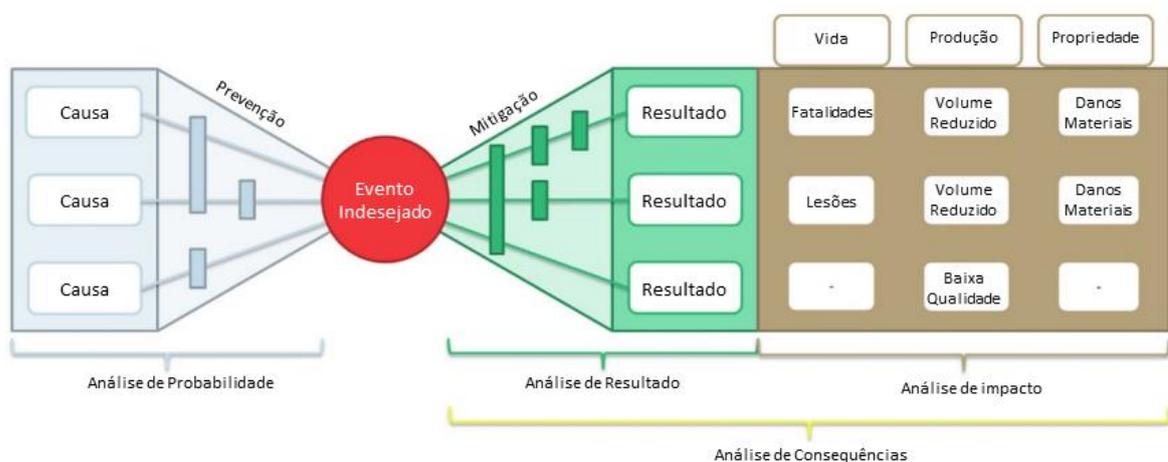
- a) conhecer os riscos;
- b) auxiliar na tomada de decisão;
- c) estabelecer ações de mitigação
- d) definir causas;
- e) priorizar ações, conforme riscos associados.

### 2.2.1.1 Avaliação de riscos

O processo de avaliação de gestão de risco estabelece um contexto para identificação, análise, avaliação e mitigação. Possibilita um entendimento dos riscos, suas causas, consequências e probabilidades. E, permite que seja alterado a probabilidade de ocorrências, os efeitos associados, ou ambos, por meio da implementação de ações de tratamento (ABNT, 2012).

Para identificação e análise dos riscos, segundo Syed e Lawryshyn (2020) é possível utilizar a análise da graveta borboleta (*bowtie*). Conforme observado na Figura 17, do lado esquerdo, está a análise de probabilidades dos eventos e as barras mostram a abrangência das ações de prevenção. Do lado direito, a análise de consequência, divididas em duas partes. A análise de resultados apresenta os eventos indesejados e as barras mostram a abrangência das ações de mitigação. E a análise do impacto que reflete a consequência de cada resultado, atribuídos em diversos fatores, como: perda de vida, paradas na produção, risco ao proprietário, etc.

**Figura 17 – Análise da grava borboleta - esquema**



Fonte: Adaptado de Syed e Lawryshyn (2020).

A ideia é ter informações para focar nos itens que tenham alta consequência e alta probabilidade, mas é preciso salientar que itens com baixa

consequência e alta probabilidade, podem caracterizar um problema crônico na instituição, o que gera resultados significativos ao longo do tempo. Assim, a necessidade de intervenção e o formato de atuação em um risco está relacionada ao custo-benefício entre assumir os riscos ou implementar controles para mitigação ou eliminação do risco (ABNT, 2012).

A seleção da metodologia a ser utilizada para avaliação de risco deve refletir sobre o contexto, nível de informação, quantidade de riscos, requisitos regulatórios e contratuais, magnitude potencial das consequências e competências internas (ABNT, 2012). No Anexo A são apresentados os principais métodos para identificação e avaliação dos riscos.

#### *2.2.1.2 Métodos de avaliação dos riscos*

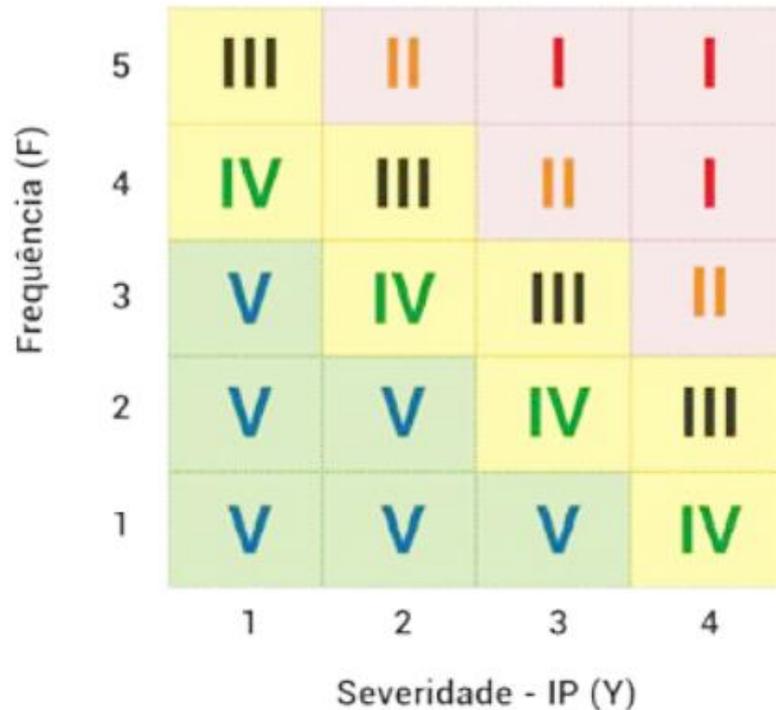
Existem diversos formatos para fazer as análises e estimativas de probabilidades, casos como:

a) dados históricos: identifica situações realizadas no passado e extrapola para o futuro, assim, obtém a probabilidade de um evento se repetir. Para caso de baixa ocorrência, ou mesmo zero ocorrência, o método poderá gerar valores incorretos; b) técnicas preditivas: técnicas como árvore de falhas e análise de árvore de eventos, são exemplos de técnicas preditivas. Quando os dados históricos não forem muito conclusivos, a análise através do sistema, atividade, equipamento ou organização e seus status de operação e falha, pode ser uma solução para encontrar a probabilidade de eventos ocorrerem, então, os dados operacionais com fontes de dados publicados são combinados para chegar na probabilidade do evento. Técnicas de simulação podem ser requeridas; c) opinião de especialista: os julgamentos de especialista são considerados para estimar a probabilidade. É preciso um processo estruturado e sistemático, e que os especialistas tenham conhecimentos sobre todas as informações pertinentes. Métodos como a abordagem Delphi, comparações emparelhadas, classificação de categorias e julgamentos de probabilidades são métodos formais que utilizam opinião de especialista como metodologia (ABNT, 2012).

A matriz de risco é um método comumente utilizada para categorizar o risco. Ela é construída com os valores de probabilidade discretizados em linhas e os valores das consequências discretizados em colunas. Cada posição da matriz resulta em uma comparação do par probabilidade e consequência. Na matriz, são encontradas diferentes regiões para definir a tolerância do risco (SYED; LAWRYSHYN, 2020). Na Figura 18 é possível observar que a matriz tem três faixas a serem analisadas – a faixa superior, quando o risco é intolerável e o tratamento é fundamental; - a faixa intermediária, onde são comparadas os custos e benefícios; e

– a faixa inferior, em que o nível do risco é considerado muito pequeno, não gerando benefícios no tratamento desse risco (ABNT, 2012).

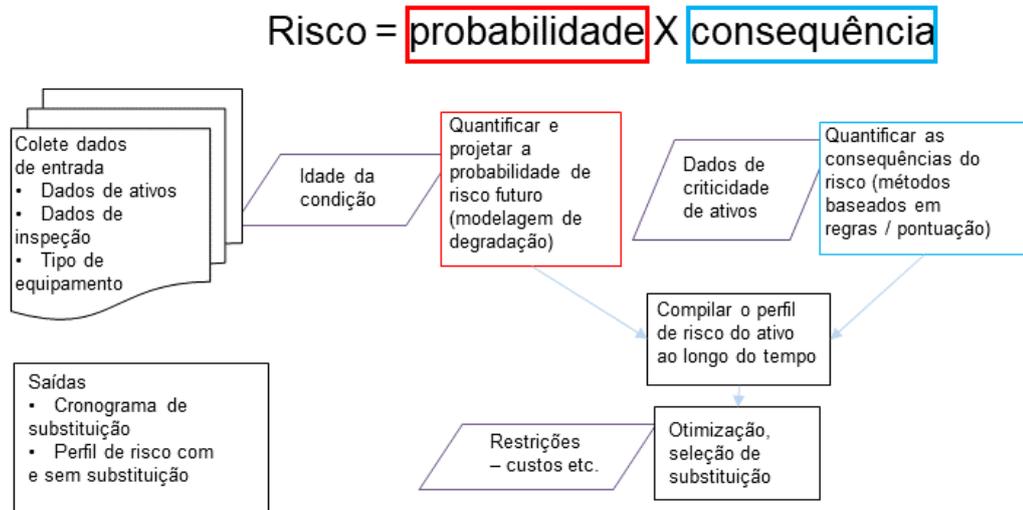
Figura 18 – Matriz de risco



Fonte: Zampolli (2018).

A probabilidade e consequência de um risco pode ser facilmente visualizada quando aplicado a matriz de riscos, conforme Figura 18. Além disso, é um modo de priorização de acordo com as maiores consequências dentro de uma probabilidade desse evento ocorrer. Modelos de deterioração são ferramentas para descobrir a probabilidade de eventos acontecerem, como é o caso do modelo de Markov. A consequência provém de diversos fatores, por exemplo, avaliando pela ótica de segurança, um ativo localizado em um local afastado e sem interações com indivíduos, resulta em uma nível de consequência tolerável, já um ativo localizado em um local com alta densidade de pessoas, resulta em um nível de consequência intolerável, pois o risco de qualquer evento pode ocasionar danos às pessoas no local (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012; SYED; LAWRYSHYN, 2020). A Figura 19 mostra o fluxo para valorar um risco.

Figura 19 – Fluxo para avaliar riscos



Fonte: Adaptado de Johnson, Strachan e Ault (2012).

A Equação 1 indica como calcular o valor do risco (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012):

$$Risco = Probabilidade \times consequência \quad (1)$$

Conforme resultado da avaliação e posicionamento na matriz, é possível tirar algumas conclusões que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Grau de risco

Grau de risco	Categoria	Condição	Ações
I	Crítico	Não aceitável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para o grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos/ações no prazo de 6 meses
II	Sério	Indesejável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para o grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos/ações no prazo de 12 meses
III	Moderado	Aceitável com controles	Verificar se existe estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha. Caso contrário, deve ser criado procedimentos ou controles.
IV	Menor	Aceitável com avisos	Sinalização e avisos são algumas das medidas necessárias. Verificar se alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha é economicamente viável
V	Desprezível	Aceitável	Nenhuma mitigação requerida

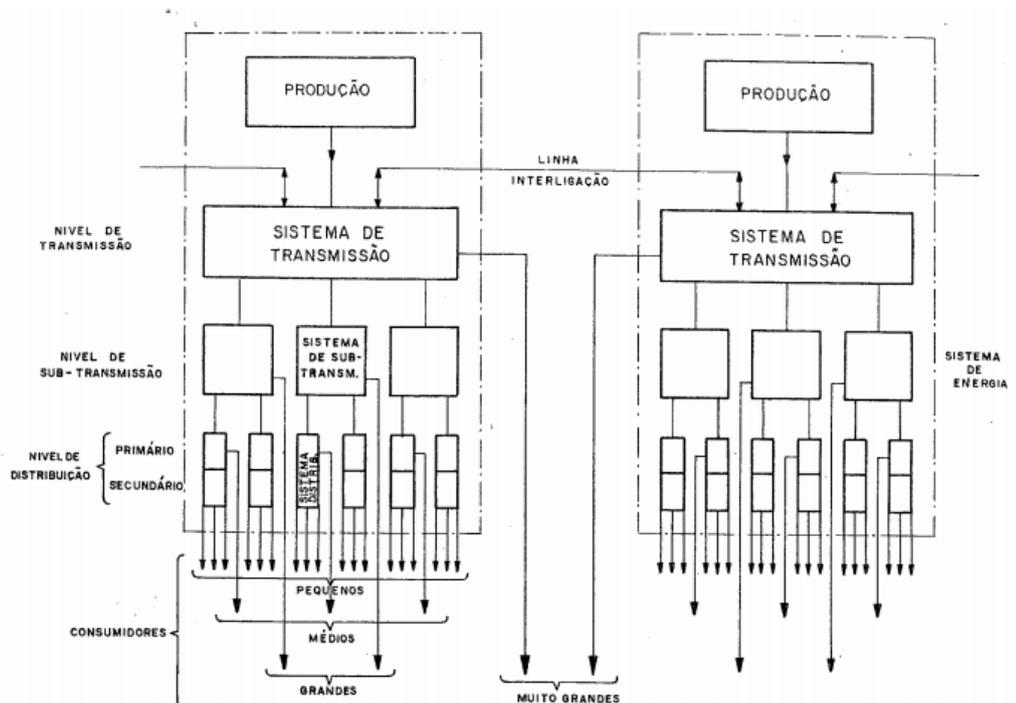
Fonte: Zampolli (2018).

### 3 ATIVOS DO SETOR ELÉTRICO

O sistema elétrico brasileiro é dividido em conjuntos verticais e conjuntos horizontais, como pode ser observado na Figura 20. No sistema horizontal, são vistas as interligações entre sistemas verticais, já que esses sistemas tendem a ter certa isolamento elétrica e geográfico. São encontrados cinco níveis dentro do setor (FUCHS, 1977):

- a) rede de distribuição;
- b) rede de subtransmissão;
- c) rede de transmissão;
- d) linhas de interligação entre sistemas verticais;
- e) geração e produção.

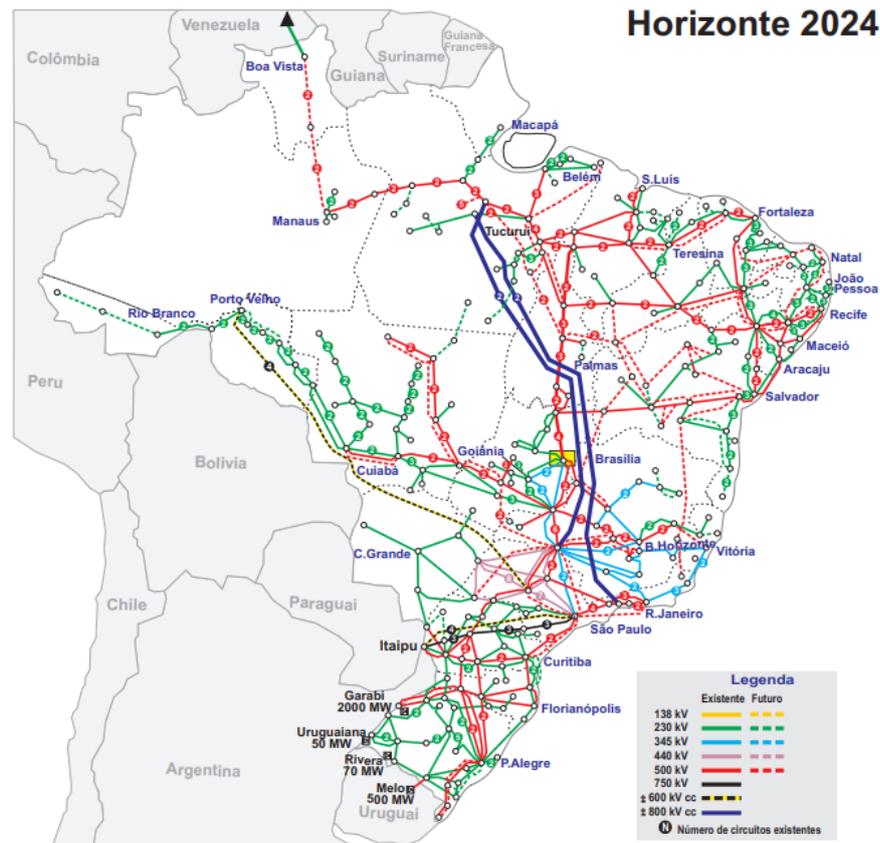
Figura 20 – Estrutura setor elétrico brasileiro.



Fonte: Fuchs (1977).

No Brasil, em nível macro, observa-se que as regiões são sistemas verticais e as grandes linhas de transmissão que cortam o país são os sistemas horizontais. Essa topologia mostra-se eficaz e eficiente, pois há intercâmbio de energia entre regiões, aumento da capacidade global do sistema, aumento da confiabilidade e despacho centralizado (FUCHS, 1977). A Figura 21, mostra o horizonte para 2024 do SIN.

Figura 21 – Sistema Interligado Nacional - 2024



Fonte: ONS (2020).

Existem diversas formas de produção e geração de energia. Existem as Usinas hidrelétricas que utilizam a energia potencial gravitacional da diferença entre a cota montante e a cota jusante do leito do rio (altura de queda da água). As eólicas que aproveitam a energia cinética do vento, que gira as pás do aerogerador. As Usinas fotovoltaicas que utilizam a luz solar para gerar eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, efetuado pelas células de silício presentes nos módulos fotovoltaicos (TOLMASQUIM, 2016).

Para produção de energia elétrica, os grandes geradores fornecem a energia em média tensão, dentro de uma faixa entre 1 e 25kV. Contudo, a operação dos blocos de energia se torna mais eficiente, menor perda, para tensões superiores a 138kV. Em contrapartida, os consumidores utilizam a energia elétrica em baixa tensão. Assim, a elevação e redução do nível de tensão acontece em todas as fases do processo de produção e uso de energia elétrica. Os transformadores de potência fazem a função de elevar e abaixar o nível de tensão e são elementos fundamentais e recorrentes no sistema (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

O transporte de energia é parte essencial do sistema elétrico e é dividido de acordo com o nível de tensão e quantidade de energia transportada. Linhas de transmissão são responsáveis por transportar energia nas maiores tensões do sistema, elas ligam centros de produção com centros de carga (subestações abaixadoras). Linhas de sub-transmissão operam em níveis de tensão abaixo das linhas de transmissão e conectam subestações abaixadoras até subestações abaixadoras para o nível de tensão de distribuição. Linhas de distribuição primárias operam em vias públicas, assim, têm que manter tensões suficientemente baixas, mas não tão baixas em virtude da manutenção do bom nível de eficiência. Linhas de distribuição são o elo final do transporte de energia (FUCHS, 1977). No Brasil, as tensões praticadas em transmissão e subtransmissão são: “750; 500; 230; 138; 69; 34,5; 13,8 kV.” Já para o cenário de distribuição primária em redes públicas são utilizados os valores de tensão de “34,5 e 13,8kV”. E, para a distribuição secundária em redes públicas os valores de tensão aplicados são “380/220 e 220/227 volts, em redes trifásicas; 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas.” (ANEEL, 2011). Podem ser utilizados outros níveis de tensão para cada subparte.

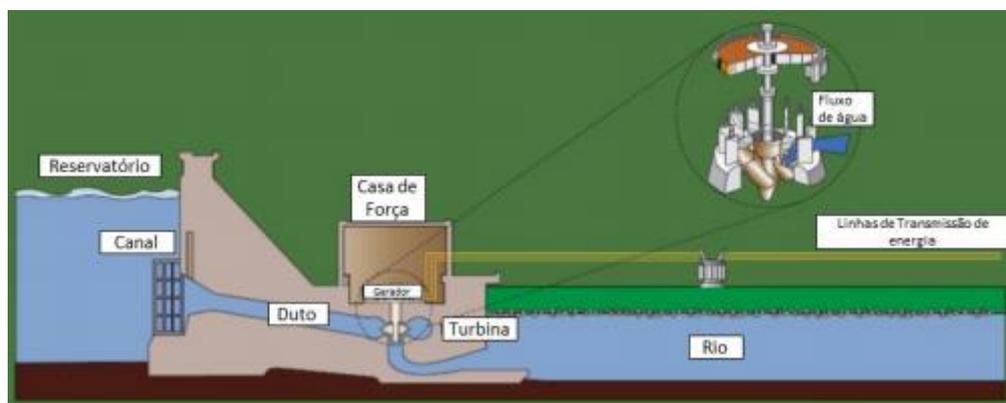
Em resumo, o sistema elétrico é composto por unidades de geração, que entregam a energia para subestações elevadoras. Nesse ponto, as linhas de transmissão transportam a energia por grandes distâncias até subestações abaixadoras, próximas aos centros de cargas. Nos centros de cargas estão as distribuidoras de energia, que transportam a energia até transformadores, que abaixam os níveis de tensão para atendimento das unidades consumidoras.

Para fazer o sistema elétrico funcionar é fundamental que o sistema de proteção e comunicação estejam operando corretamente. Os sistemas de proteções devem ser sensíveis, rápidos e confiáveis, seus principais ativos são os relés, transformadores de corrente, e transformadores de potencial. O sistema de comunicação tem papel no sistema de proteção, além claro de fornecer condições para realização da supervisão e controle dos ativos do setor elétrico. O sistema de comunicação pode ser feito via linhas físicas (fio piloto ou fibra ótica, rádio, onda portadora) (MAMEDE; MAMEDE, 2013).

### 3.1 Ativos principais

Os principais ativos de uma UHE, apresentados na Figura 22, são: barragem, sistema de captação (reservatório), adução de água (canal + duto), casa de forças (turbina) e vertedouro. Os ativos podem ser avaliados individualmente, ou em subsistemas como o agrupamento pelo circuito hidráulico, etc. (TOLMASQUIM, 2016). É possível observar que todos os ativos de uma UHE representam um portfólio de ativos, já as turbinas presentes na instalação, representa uma frota de ativos.

**Figura 22 – Perfil esquemático de usina hidrelétrica**



Fonte: Tolmasquim (2016).

Já para usinas fotovoltaicas, os módulos fotovoltaicos, cabos, caixas de junção e inversores fazem parte do sistema CC de uma UFV. O transformador, subestações unitárias e redes de média tensão, fazem parte do sistema CA (TOLMASQUIM, 2016).

Nas linhas de transmissão são encontrados os condutores, isoladores e ferragens, as estruturas de sustentação dos cabos e o cabo para-raios. Para esses ativos as principais ações de intervenção são inspeções visuais e termográficas, limpeza da faixa de servidão e ações corretivas. Sendo que a receita de transmissoras advém da capacidade de transmissão de energia, comparado com a disponibilidade da rede (FUCHS, 1977). Já os sistemas de distribuição são compostos por estruturas de sustentação (postes), transformadores de potência, chaves seccionadoras, para-raios e religadores (MAMEDE; MAMEDE, 2013).

As linhas elétricas têm como prováveis causadores de danos os eventos fora dos parâmetros elétricos, casos como vandalismo, descargas atmosféricas, queimadas, vendavais, colisão de veículos, furto de cabo e árvores. Os efeitos são

normalmente temporários, mas geram prejuízos significativos para os detentores da concessão (MAMEDE; MAMEDE, 2013).

Segundo Mamede (2005), alguns dos principais ativos presentes no setor elétrico são:

- a) para-raios;
- b) chave fusível;
- c) chave seccionadoras;
- d) relé;
- e) transformador de corrente;
- f) transformador de potencial;
- g) disjuntores;
- h) transformadores;
- i) religadores;
- j) chaves automáticas;
- k) isoladores, muflas e buchas.

Lucio, Nunes e Teive (2009) destacam que dentre os ativos de um sistema, o transformador de potência tem grande destaque, tornando-se o bem mais importante, pois é crucial dentro do exercício de funcionamento do setor elétrico assim “sua gestão ganhou notável reconhecimento”. Eles concluem que a preservação e conservação do transformador de potência garante o atendimento dos indicadores estabelecidos por órgãos reguladores. Marques, Haddad e Martins (2006) acrescentam que “os transformadores são os equipamentos mais caros dentro de uma subestação, onde exercem função principal”. O que torna o transformado de potência o ativo mais crítico do setor.

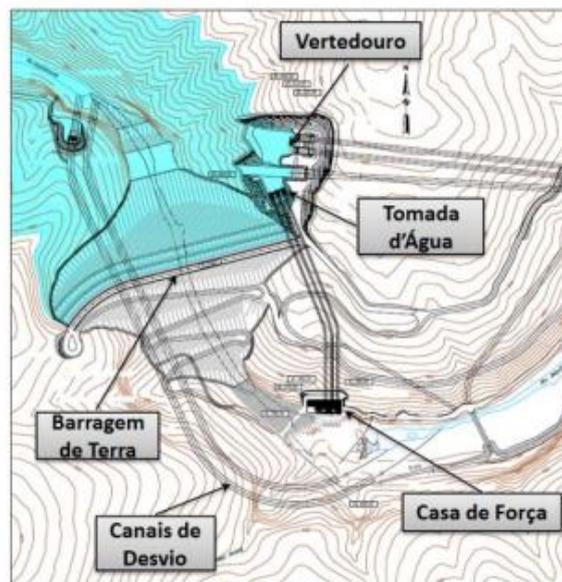
Os ativos críticos são os principais pontos de análise de um sistema de gestão de ativos, para entender se um ativo é crítico, é importante ter caracterizado em qual contexto e escopo, este está aplicado. Um ativo que gere mais valor dentro do escopo, será o item crítico do sistema, ou um em que seu desempenho/falha gere maiores resultantes, também será classificado como crítico (ZAMPOLLI, 2018).

### 3.2 Ativos críticos

Entre as piores consequências que podem ocorrer no setor elétrico, a interrupção do fornecimento é a principal. Pois afeta receita das companhias, o atendimento das partes interessadas, consumidores e órgãos reguladores, e aumenta os custos com reparos e intervenções. A probabilidade de ocorrência está ligada a função dos equipamentos, bem como, fatores relacionados a perda de dielétrico, variação de temperatura e níveis de tensão superior a nominal, de forma abrupta e rápida, ou suave e prolongada. Além da ocorrência de descargas atmosféricas, que causam diversos danos aos equipamentos do setor elétrico, sendo as redes de distribuição as que sofrem maior consequência, devido a tensão de operação mais baixa (MAMEDE, 2005).

Embora os principais riscos e intervenções estejam associados aos equipamentos do setor elétrico, Tolmasquim (2016) destaca que a barragem de uma UHE, conforme Figura 23, apresenta altíssima consequência, porém baixa probabilidade de ocorrência, e pode ser considerado um ativo crítico. Os tipos de barragem podem variar de acordo com o método de construção e são considerados frotas de ativos.

Figura 23 – Barragem UHE



Fonte: Tolmasquim (2016).

As barragens podem ser consideradas críticas porque existe a possibilidade do rompimento, que causaria danos catastróficos a populações ribeirinhas e toda área a jusante, além, dos danos a propriedade. Assim, é preciso fazer inspeções periódicas, análise do solo, etc., também, é preciso montar planos de evacuação, instalação de sirenes, manter todos informados e fazer treinamentos periodicamente.

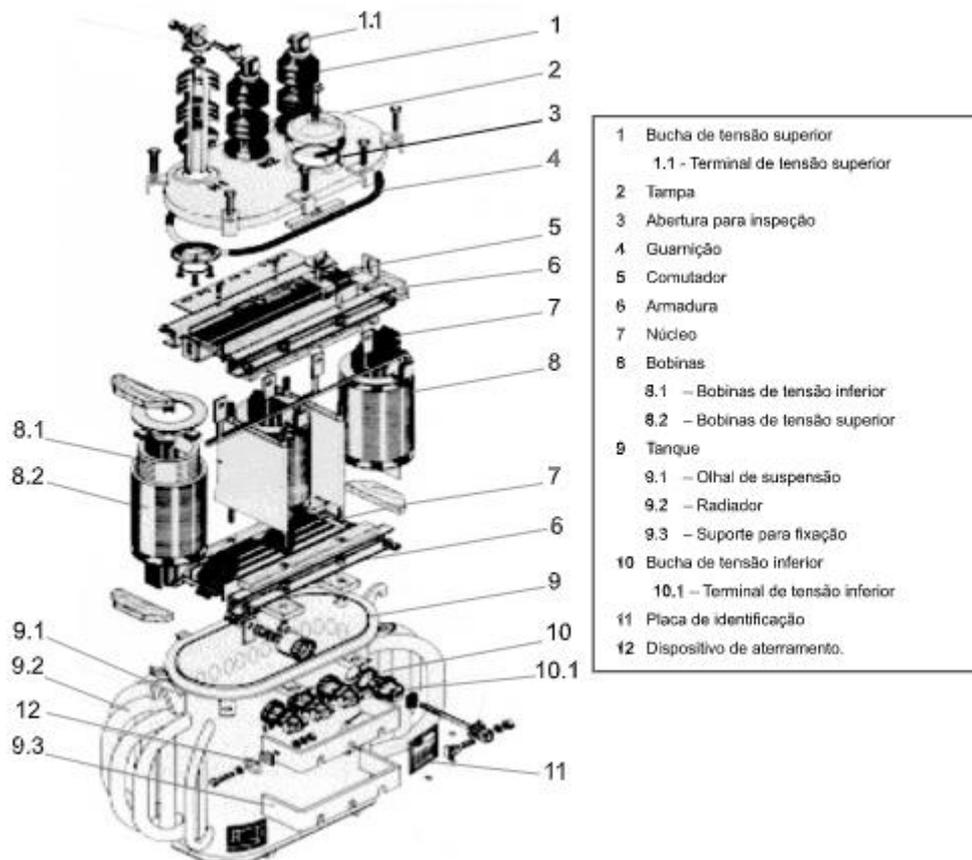
Contudo, conforme revisão bibliográfica, os transformadores foram amplamente caracterizados como o ativo mais crítico do sistema elétrica e onde são despendidos os maiores esforços para ampliação da vida útil. Bastian, Tryollinna e Prabaswara (2017) confirmam essa informação e salientam que o sistema de gestão ativos implementado pela *PLN Transmisi Jawa Bagian BaratN (TJBB)*, concessionária de eletricidade no oeste de Java, considera o transformador o ativo mais crítico do sistema, devido à sua função e quantidade.

### 3.2.1 Transformadores de potência

Os transformadores são considerados equipamentos de alta eficiência, cerca de 96% a 99%. Embora apresentem grande eficiência, estima-se que 30% das perdas técnicas no Brasil esteja relacionado aos transformadores de distribuição (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

Os componentes básicos da parte ativa dos transformadores são os enrolamentos, em fios de cobre, e o núcleo, em chapas finas de material ferromagnético, que estão envoltos de material isolante dentro de um tanque. O material isolante tem objetivo de isolar eletricamente os componentes do transformador e dissipar o calor. Outros componentes do transformador são “os terminais, buchas, parafusos, tampas, sensores, relés, reguladores, ventiladores, radiadores, etc.”, destinados a auxiliar no funcionamento. Na Figura 24 é apresentado um transformador de distribuição em corte, em que é possível verificar em detalhes os componentes (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

Figura 24 – Corte esquemático de um transformador de distribuição



Fonte: Marques, Haddad e Martins (2006).

As funções que cada transformador de alta tensão realiza em uma subestação sugerem uma classificação para eles: transformadores elevadores, transformadores de interligação, transformadores abaixadores (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006). E assim pode se determinar as formas de intervenção nas frotas de ativos.

As falhas em um transformador são diversas e estão associadas à temperatura e pressão interna, curto-circuito, arco elétrico nas buchas, perda de isolamento e deterioração das condições físico-químicas do óleo isolante (ocorre a infiltração de água no óleo isolante, o que aumenta as chances de curto-circuito), além claro, de eventos que acontecem na rede e no ambiente (MAMEDE; MAMEDE, 2013). A principal causa das falhas é associada ao fator de carregamento do transformador e a elevação da temperatura.

O fator de carregamento de um transformador, definido em razão dos limites térmicos, da perda de vida, do ciclo de operação e das condições ambientais.

Tem papel fundamental para o planejamento do ciclo de vida transformadores, pois, não é desejável ter um transformador trabalhando sobrecarregado. Na Equação 2 é apresentado o fator de carregamento associado aos critérios de fabricação (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

$$\eta = \left\{ \frac{F_C * S_N * FP}{F_C * S_N * FP + P_{JN} + 1,2 * P_0} \right\} * 100 \quad (2)$$

Onde:

$\eta$  - eficiência de operação (%);

$F_C$  – fator de carregamento (pu);

$S_N$  – potência nominal (kVA);

FP – fator de potência da carga;

$P_0$  – perdas em vazio (kW);

$P_{JN}$  – perdas em carga nominal.

Ao fazer  $\frac{\Delta\eta}{\Delta F_C}$ , obtém-se o fator de carregamento ótimo, Equação 3, que entrega a maior eficiência (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

$$F_C^* = \sqrt{\frac{1,2 * P_0}{P_{JN}}} \quad (3)$$

Já a vida útil de um transformador está ligada diretamente com as temperaturas de operação, conforme fator de carregamento. O tempo de vida útil previsto por fabricantes é de 30 anos, já que é um ativo de alto valor agregado. Esse tempo refere-se ao momento em que o equipamento perde sua garantia estatística de funcionamento, mas não necessariamente vá ocorrer a falha. Em transformadores, este momento está muito ligado a perda de isolamento do papel isolante, que está imerso no óleo. É possível estabelecer a vida útil dos transformadores por meio da Equação 4 (MAMEDE, 2005).

$$P_v = 10^{-\left[\frac{B}{273+T_e} + A\right] * 100 * \Delta t} \quad (4)$$

Onde:

$P_v$  – perda de vida útil (%);

$B$  – constante,  $B = 6.972,15$ ;

$T_e$  – temperatura do ponto mais quente do enrolamento ( $^{\circ}\text{C}$ );

$A$  – constante,  $A_{55^{\circ}\text{C}}=14,1333$  /  $A_{65^{\circ}\text{C}}=13,391$ ;

$\Delta t$  – intervalo de tempo considerado (h).

Para se manter a vida útil estimada pelo fabricante, a perda média de vida útil por ano deve ser 3,3%.

A elevação da temperatura também leva a carbonização do óleo isolante, que torna o óleo mais ácido e eleva o nível de oxidação, esse processo causa a formação de gases. Todas essas transformações aumentam a taxa de envelhecimento do papel isolante, assim, a diminuição da vida útil. Portanto, a medição e o acompanhamento da temperatura do ponto mais quente do enrolamento e do topo do óleo são fundamentais para conservação do equipamento (MAMEDE, 2005).

Em um caso prático de implementação de gestão de ativos para melhorar a disponibilidade de um transformador, foi analisado que a falha de isolamento de buchas pode causar grande estrago aos transformadores, para tanto, são realizadas intervenções do tipo preventiva em períodos de 3 anos, onde é desenergizado o equipamento por cerca de 15 a 10 horas, dependendo do nível de tensão, o que acarreta em perda de disponibilidade. Com os processos e políticas estabelecidos, observou-se que essa ação preventiva pode ser evitada, afinal, por mais que ocorra o envelhecimento do isolamento da bucha, o equipamento pode estar operando em condições favoráveis e as buchas não sofrerem danos suficientes para caracterizar a necessidade de intervenção. Assim, constatou-se que os riscos continuam toleráveis, oferecendo mais tempo de operação dos equipamentos (BAUTISTA, 2019).

As políticas e processos estabelecidos na gestão de ativos ajudam a conhecer melhor os equipamentos e a otimizar o contexto operativo para melhorar o rendimento dos ativos. O formato ideal seria abordar todos os ativos, contudo nem sempre é possível, assim, deve-se fazer a seleção de ativos críticos.

### 3.2.2 Seleção de ativos críticos

Para definir o ativo crítico do sistema, conforme descrito por Parise *et al.* (2017), pode ser utilizado um formato que garanta o desempenho funcional com a

máxima eficácia no ciclo de vida, assim, o tempo de restabelecimento após uma falha, pode ser um critério para classificar os ativos. Encontrar peças de reposição e repará-las localmente, são fatores que influenciam na avaliação.

A IEC 60364-5-56 traz uma classificação de níveis de integridade, em que é possível aplicar esse modelo para caracterizar cargas e equipamentos de baixa tensão conforme o tempo de restabelecimento. O nível vai de IL0 e IL1 – sem limitação de tempo ou a interrupção não causa danos; IL2 – com limitação média de interrupção do sistema; e IL3 – que restringe a condições de não interrupção, ou considera curtos períodos de tempo, que permitem no máximo 5s de interrupção (PARISE *et al.*, 2017).

O método Delphi, explicado no capítulo 4, também é uma opção viável para seleção de ativos críticos, foi por meio deste, que esse trabalho definiu o transformador de potência como o item crítico. As consultas foram feitas em materiais publicados e não em uma consulta direta, como indica o método.

## 4 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Constantemente os equipamentos e materiais elétricos devem ser inspecionados e ensaiados. Para averiguação da condição e comparação de *targets* (MAMEDE, 2005). Para tanto, existem métodos que analisam os valores e definem condições toleráveis de operação.

A aplicação de modelos de análise de desempenho também é utilizada para verificar e valorar os efeitos no sistema. Existem níveis de dependência que indicam o resultado de um efeito perante o sistema, que podem ser classificados como (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019):

- a) **Dependência de performance:** acontece quando uma falha afeta diretamente o sistema e equipamentos dependentes;
- b) **Dependência estocástica:** os estados de condição de um ativo condicionam os estados de outros, podem assumir estados devido ao tempo de uso, estado de falha, taxa de degradação, e resultam na degradação, falhas e sobrecargas dos equipamentos;
- c) **Dependência de recursos:** ocorre o compartilhamento do mesmo recurso em ações de intervenção, como recursos financeiros, humanos e sobressalentes.

É preciso classificar os ativos conforme classes de dependência para atribuir nível de importâncias de falhas e construir indicadores aplicado as condições reais. De acordo com Silverman e Johnson (2013), identificar falhas é o primeiro passo para o sucesso. Isto que a análise de desempenho se propõe a fazer.

A gestão de ativo faz, durante todo o ciclo de vida do ativo, a conexão dos dados de análise de desempenho, condições, confiabilidade e riscos, em que percorre do nível base do ativo até o nível corporativo. Processos para avaliar o desempenho são fundamentais para tomada de decisão (LUCIO; NUNES; TEIVE, 2009), na Figura 25 é observado as iterações de processos e avaliações que o gestor de ativos deve fazer antes de tomar suas decisões.

**Figura 25 – Processo de tomada de decisão**



Fonte: Lucio, Nunes e Teive (2009).

As intervenções devem ser feitas, quando a análise de desempenho apontar que:

a) os ativos estão irremediavelmente danificados; b) os custos operacionais e/ou de manutenção durante a vida remanescente do ativo excederão o custo de substituição; c) há risco iminente de falha do ativo; d) o impacto de uma provável falha supera o custo de substituição; e) uma provável falha pode comprometer a confiabilidade e a segurança do sistema e de pessoas; f) os ativos tornaram-se obsoletos e ineficientes para operar e manter; g) os ganhos com a substituição implicam em melhoria de indicadores relativos à segurança de pessoas, do meio ambiente e desempenho da empresa. (ZAMPOLLI, 2018).

No Anexo B, é apresentada um fluxo de tomada de decisão para avaliação do desempenho conforme avaliação de riscos, nível de tolerância para os efeitos e viabilidade técnica e financeira.

Os métodos utilizados para avaliar o desempenho do sistema de ativos é abordado nos tópicos seguintes.

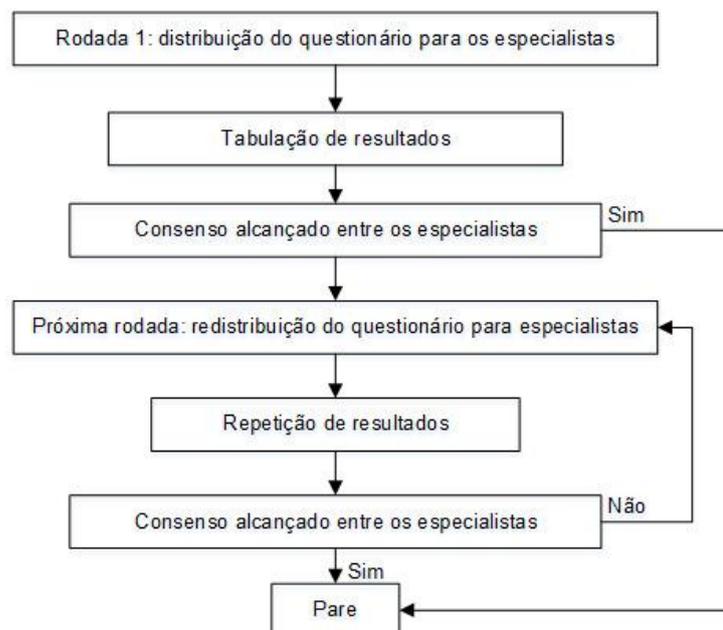
#### 4.1 MÉTODO DELPHI

O método Delphi utiliza opiniões de diversos especialistas, entre 5 a 15, e objetiva encontrar a solução de consenso entre eles e avaliar uma alternativa ou ativo. O método pode ser acoplado com outros métodos, como o AHP (DOHALE; AKARTE; VERMA, 2019). Com uma abordagem diferente de um modelo *brainstorm*, a técnica

preconiza que os especialistas disponibilizem suas opiniões de forma individual e anônima, espera-se assim, que as opiniões sejam mais abrangentes e os especialistas sintam mais confiança para se posicionar. É utilizado em qualquer fase do ciclo de vida de um sistema, à medida que se faz necessário o consenso e opiniões de especialistas (ABNT, 2012).

O processo é iniciado com a seleção dos especialistas ou grupos para responderem um questionário (ABNT, 2012), que segundo Dohale Akarte e Verma (2019) os entrevistados devem ter pelo menos 5 anos de experiência. Após o recebimento, os especialistas respondem os questionários e enviam para os organizadores, assim, se encerra a primeira rodada do Delphi. O resultado da primeira rodada é registrado e avaliado, caso haja consenso, o processo é encerrado, caso não haja, as perguntas chaves são ajustadas conforme avaliação da etapa anterior, e são distribuídas novamente aos especialistas, junto com o resultado da etapa anterior. Na Figura 26 é possível verificar os passos para aplicação do método. Em média duas a três rodadas são necessárias para chegar em um consenso (DOHALE; AKARTE; VERMA, 2019).

**Figura 26 – Método Delphi**



Fonte: Adaptado de Dohale Akarte e Verma (2019).

Para validação do consenso é possível utilizar a razão de validade de consistência (CVR), que estabelece os limites para aceite e exclusão de critérios de uma análise. O CVR atribui valores de -1 a +1 para os critérios, sendo que o valor

limite é 0,29, valores maiores ou iguais são mantidos, valores abaixo, o critério é excluído. O modelo CVR é expresso conforme Equação 5 (DOHALE; AKARTE; VERMA, 2019):

$$CVR = \frac{N_{PE} - \left(\frac{N}{2}\right)}{\frac{N}{2}} \quad (5)$$

Onde:

CVR – razão de validade de consistência;

$N_{PE}$  – número de especialistas concordando com o critério;

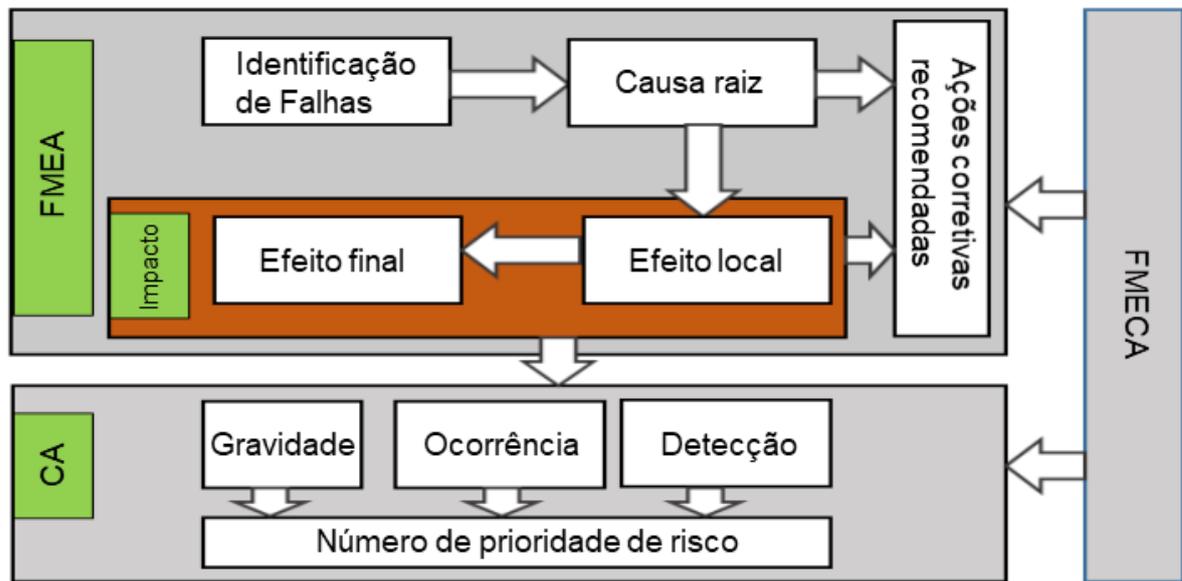
N – número total de especialistas.

A técnica é recomendada para o processo de avaliação de desempenhos, pois proporciona a discussão de assuntos sem amarras, permite a discussão de temas impopulares e é facilmente expostas as partes, haja visto que não necessita a reunião dos envolvidos. Contudo, a técnica exige muitas horas e intensivo trabalho (ABNT, 2012).

## 4.2 FMEA/FMECA

Análise de modos e efeitos de falha (*FMEA – Failure Modes and Effects Analysis*) “é uma técnica para identificar, analisar e prevenir falhas em processos” e ativos (SILVERMAN; JOHNSON, 2013). Já a Análise de Criticidade do Efeito do Modo de Falha (*FMECA - Failure Mode Effect Criticality Analysis*) tenta pontuar as razões da falha do sistema, para tanto, busca os ativos e processos e os modos de falhas presentes no sistema. O FMECA, conforme Figura 27, abrange a análise FMEA – e inclui a parte CA – criticidade de falha (KHALIL, 2018).

Figura 27 – Diagrama esquemático FMEA/FMECA



Fonte: Adaptado de Khalil (2018).

FMEA pode ser definido como uma análise *bottom-to-up* e descrito como uma metodologia sistemática para identificar os modos de falha em potencial, as causas e os efeitos, também, podem ser utilizado como parâmetro de referência para a detecção de falhas. Em uma lista de parâmetro para FMEA é observado as variadas falhas dos equipamentos, os responsáveis, as consequências locais e no sistema como todo, e ações de intervenções, a fim de reduzir o extinguir o risco de falha (KHALIL, 2018).

CA é a segunda parte do FMECA, é o momento em que é realizado a priorização das falhas, para ambientes de tomada de decisão, é uma variável preponderante. A avaliação deste número pode ser qualitativa ou quantitativa (KHALIL, 2018).

A avaliação qualitativa é baseada na experiência dos responsáveis e especialistas. A quantitativa utiliza de valores históricos de taxa de falha e a frequência de ocorrência. Para as taxas de falhas, os valores estabelecidos por equipamentos, fornecedores, condições de operação e contexto aplicado, oferecem padrões para estimar fuga ou desvio da taxa de falha (KHALIL, 2018).

A FMEA/FMECA é uma opção para ser aplicada em etapas de projeto, manufatura ou operações de um sistema físico, pois mapeia as alternativas de projeto e modos de falhas de sistemas e processos, que gera boas condições para o

planejamento e otimização de processos e manutenções, também diferencia erros humanos e fornece *inputs* para outros métodos de análise (ABNT, 2012).

Para se obter os resultados da análise do FMECA é preciso:

- a) definir o escopo e objetivos; b) montar a equipe; c) entender o sistema/processo a ser submetido ao FMECA; d) desdobrar o sistema em seus componentes ou etapas; e) definir a função de cada etapa ou componente; f) para cada componente ou etapa solada listada, identificar: - como pode ser concebível cada parte falhar? - quais mecanismos podem produzir estes modos de falha? - quais podem ser os efeitos se as falhas ocorrerem? - a falha é inofensiva ou prejudicial? - como a falha é detectada?
- g) Identificar as medidas inerentes ao projeto para compensar a falha. (ABNT, 2012).

Com os produtos, processo e modos de falhas mapeados, agora os responsáveis devem estabelecer a pontuação do modo de falha, existem “pontuação genéricas de um dos muitos documentos de diretriz FMEA, como IEC-60182, Sematech E14 e MIL-STD-1629.” (SILVERMAN; JOHNSON, 2013), contudo a melhor forma é personalizar ao contexto organizacional, pois podem ser identificados muitos ou muito poucos problemas para resolver.

De toda forma, um método padrão para atribuir o valor de prioridade da falha, é por meio do cálculo do Número de Prioridade de Risco (RPN), definido pela Equação 6 (KHALIL, 2018).

$$RPN = O \times S \times D \quad (6)$$

Onde:

S – gravidade da falha;

O – probabilidade de ocorrência;

D – detecção e reconhecimento de falha antes de eventuais danos.

Um exemplo para avaliação são os critérios estabelecidos na IEC-60182, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Critérios de avaliação FMEA/FMECA**

O – probabilidade de ocorrência	S – gravidade da falha	D – detecção	Ranking
Falha improvável	Nenhum efeito discernível	Certo	1
Baixo: relativamente poucas falhas	Mínimo	Muito alto	2
	Menor	Alto	3
Moderado: falhas ocasionais	Muito baixo	Moderadamente alto	4
	Baixo	Moderado	5
	Moderado	Baixo	6
Alto: falhas repetidas	Alto	Muito baixo	7
	Muito alto	Remoto	8
Muito alto: falhas são inevitáveis	Perigoso com aviso	Muito remoto	9
	Perigoso sem aviso	Absolutamente incerto	10

Fonte: Khalil (2018).

Uma vez implantado, a essência do sucesso do FMEA está relacionado: (SILVERMAN; JOHNSON, 2013):

- a) a alocação de recursos (tempo e dinheiro);
- b) a maturidade organizacional;
- c) o envolvimento da administração;
- d) o processo de implementação sustentado.

A FMEA/FMECA tem uma abrangência grande para aplicação, por mais que só possa ser utilizado para identificar modos de falhas singulares, a análise pode ser realizada em modos de falhas humanas, de equipamentos e de sistemas, ainda, destaca as causas e os efeitos sobre o sistema. Mas com tanta informação, pode ser uma tarefa árdua chegar aos resultados (ABNT, 2012). A técnica permite a associação de outros métodos, caso como *benchmarking* competitivo (SILVERMAN; JOHNSON, 2013).

### 4.3 ANÁLISE DE MARKOV

Análise de Markov é abordado quando o estado futuro de um sistema só dependa do seu estado atual. É um método estatístico, logo quantitativo. Aplicado de

forma discreta, para probabilidade de alteração de estados, ou de forma contínuo, para taxas de variação dentre os estados (ABNT, 2012). Johnson, Strachan e Ault (2012) defendem o uso do modelo de Markov para auxiliar na análise de condição futura dos ativos.

É utilizado na estrutura de sistema, em componentes independentes em paralelo ou em série, sistemas com cargas compartilhadas, sistemas *stand-by*, mesmo com falha na comutação e sistemas degradados. Ainda, é factível de aplicação para o cálculo da disponibilidade, com componentes sobressalentes presentes na análise (ABNT, 2012).

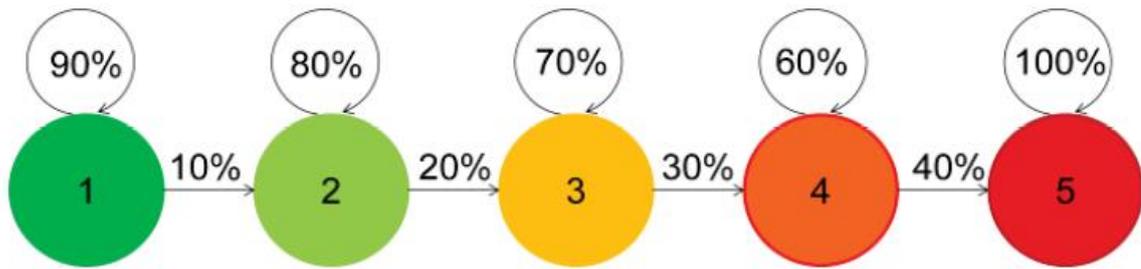
A cadeia de Markov é um diagrama de mudança de estados, onde as setas representam a probabilidade de mudança de um estado para outro, os estados representam as condições do ativo. Na Figura 28, os estados estão definidos de acordo com o índices de saúde dos ativos apresentados na Tabela 3. A transição dos estados ocorre do estado 1 para o estado 2, ou do estado 1 se mantendo no estado 1. No estado 5, é impossível sair, haja vista que a ativo chegou em uma condição crítica (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012).

**Tabela 3 – Nível de condição de ativos**

Índice de Saúde	Descrição
HI1	Novo ou como novo
HI2	Condição boa ou utilizável
HI3	Requer avaliação e monitoramento da deterioração
HI4	Deterioração do material, intervenção requer consideração.
HI5	Final da vida utilizável, requer intervenção

Fonte: Adaptado de Johnson, Strachan e Ault (2012).

Figura 28 – Cadeia de Markov embasado em índices de saúde



Fonte: Johnson, Strachan e Ault (2012).

O método defini as transições possíveis para modelagem e a taxa de mudança, em que, para análises discretas se utiliza a probabilidade de mudança entre os estados, para análises contínuas se utiliza a taxa de falha ( $\lambda$ ) e/ou a taxa de reparo ( $\mu$ ) (ABNT, 2012).

#### 4.4 Manutenção Centrada na Confiabilidade

A manutenção promove formas de os ativos continuarem a desempenhar as funções que foram especificadas. A manutenção efetuada pelo lado da demanda, difere da forma tradicional, pois preza pela melhoria contínua da performance, não só a disponibilidade do ativo. Também, busca ser adaptável as mudanças do meio, e são executadas por equipes multi-qualificadas (GROENEWALD; KLEINGELD; VOSLOO, 2015).

A manutenção centrada na confiabilidade (*RCM - reliability-centered maintenance*), uma técnica voltada para manutenção efetuada pelo lado da demanda, é estruturada em sistemas da análise de criticidade do equipamento (*ECA - equipment criticality analysis*) para montar a estratégia de monitoramento e manutenção mais eficaz. Busca acoplar os indicadores de integridade do ativo com as notificações e ordens de manutenção para criar um histórico do ciclo de vida do ativo, o que resulta em planos e estratégias de manutenção (GROENEWALD; KLEINGELD; VOSLOO, 2015; MAHERDIANTA; RAMADHAN; EDWANTIAR, 2019).

Segundo Zampolli (2018), entre os principais benefícios, se destacam: flexibilidade, respostas rápidas às mudanças, atuação nas causas básicas dos problemas e não nos sintomas.

É um método baseado no contexto organizacional que visa estabelecer padrões de segurança, disponibilidade e economia em operação requeridas, de forma a manter a eficácia e a eficiência em todo o sistema. É um processo de decisão de intervenção ou não no ativo, em virtude dos custos e benefícios da aplicação (ABNT, 2012). O contexto operacional leva em consideração as condições de instalação e as condições de operação, para obter as grandezas elétricas (BAUTISTA, 2019).

O RCM funciona basicamente com “o planejamento, análise funcional das falhas, priorização de tarefas, implementação e melhoria contínua.” O método segue as etapas básicas de análise de desempenho através do FMECA, contudo utiliza uma abordagem específica. Já que as potências falhas identificadas são aquelas que apresentam potenciais de redução ou eliminação em frequência e/ou consequência. A análise relaciona a frequência que cada falha permanecer sem manutenção (ABNT, 2012).

Manutenção centrada na confiabilidade é focado em manter a confiabilidade do sistema, em que utiliza seus esforços em identificar e atuar em ativos críticos. Necessita da constante identificação da condição do ativo que prevê instrumentações para monitorar o ativo e descrever os estados destes (GROENEWALD; KLEINGELD; VOSLOO, 2015). Sistema de monitoramento coleta as variáveis físicas dos ativos e entrega para sistemas de informação e análise (BAUTISTA, 2019).

#### 4.4.1 Análise de condição

A manutenção tradicional, manutenção corretiva e preditiva, não oferecem eficiência com alta confiabilidade, como é o caso das técnicas baseadas na condição (BAUTISTA, 2019).

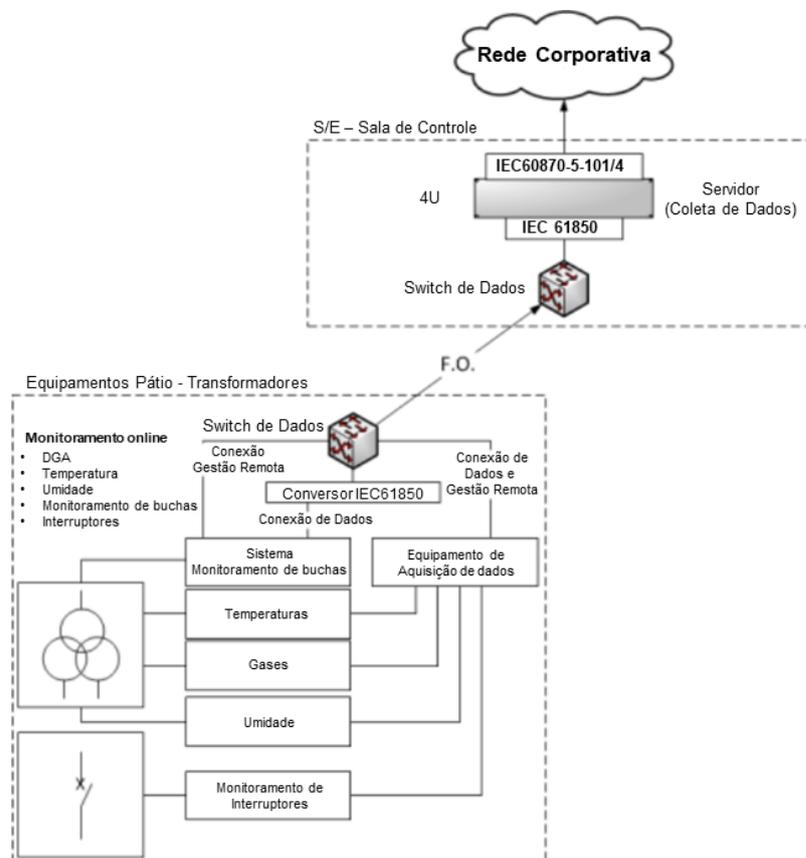
Na Ofgem (*Office of the Gas and Electricity Markets in London*), empresa que faz a distribuição de eletricidade e gás em Londres, Johnson, Strachan e Ault (2012) informam são aplicados as condições de saúde (HI – *Health Index*) dos ativos, estão definidos conforme níveis distintos de estados de operação, esses índices são apresentados na Tabela 3.

De acordo com o nível encontrado do ativo é planejado as ações que devem ou não ser priorizadas.

A primeira etapa para avaliar a condição do ativo é adquirir os dados e informações do ativo, em seguida é possível avaliar o risco atual associado ao ativo e construir um perfil de risco. A condição dos ativos deve ser testada regularmente, a fim de acompanhar as mudanças. Conhecendo o perfil de risco e os limites aceitáveis de operação para a organização e das partes interessadas, os ativos são ordenados e calculados de forma a priorizar as ações conforme o limite de orçamento, risco e risco ao sistema (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012).

O sistema de monitoramento de condição apresentado por Bautista (2019), Figura 29, prevê um sistema integrado de comunicação, protocolos de comunicação padrão IEC, fácil acessibilidade para usuários e ativos de sensoriamento ajustados a necessidade. O sistema preconiza todos os pontos de gestão de ativo e agrega valor ao ativo.

**Figura 29 – Rede de comunicação para acompanhamento da condição de transformadores de potência**



Fonte: Bautista (2020).

Outro formato para definir a condição dos ativos, é o modelo apresentado por Bastian, Tryollinna e Prabaswara (2017), que avalia a condição (saúde) estabelecendo um valor para cada estado, com enfoque nos resultados obtidos na inspeção e medição, obtendo, assim, o índice de integridade do ativo. Os estados são rotulados em um nível de 9 – condição normal; a 1 – condição anormal. Para um transformador de energia, a Tabela 4 apresenta os riscos associados a cada condição preestabelecida.

**Tabela 4 – Fatores de risco conforme normativas – Transformador de potência**

Item	Fator de risco	Condição	Valor do intervalo
1	Carga média	1	Carga média (1 ano) $\geq 90\%$
		6	$60\% \leq$ Carga média (1 ano) $< 90\%$
		9	Carga média (1 ano) $< 60\%$
2	Corrente de falha instantânea ( <i>TFC - Through fault current</i> )	1	TFC $> 384000$ (p/ 60MVA) TFC $> 110000$ (p/ 30MVA)
		6	$192000 \leq$ TFC $\leq 384000$ (p/ 60MVA) $55000 \leq$ TFC $\leq 110000$ (p/ 30MVA)
		9	TFC $> 192000$ (p/ 60MVA) TFC $> 55000$ (p/ 30MVA)
3	Carga típica	1	Não linear
		9	Linear
4	Confiabilidade ( <i>R - Reliability</i> )	1	$R < 50\%$
		6	$50\% \leq R < 75\%$
		9	$R \geq 75\%$
5	Idade	1	$\geq 25$ anos
		6	$10 \leq$ idade $< 25$ anos
		9	$< 10$ anos

Fonte: Adaptado de Bastian, Tryollinna e Prabaswara (2017).

#### 4.5 Análise de decisão Multicriterial

A análise de decisão multicriterial (MCDA – *Multi-criteria decision analysis*) tem grande empregabilidade em processos de gestão de ativos, principalmente quando se trata de portfólio de ativos. Já que as técnicas MCDA combinam variáveis técnicas, econômicas, segurança e meio ambiente, atribuindo diferentes *trade-off* para

cada um dos critérios conforme objetivos e ativos. Os *trade-off* devem estabelecer franco entendimento entre objetivos, ativos e resultado da otimização (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

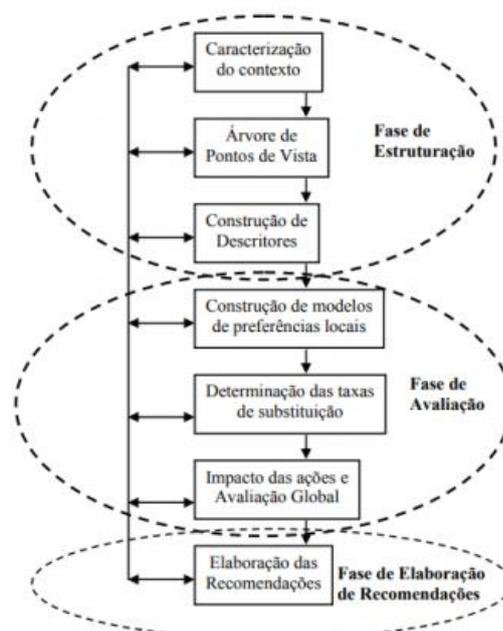
Por ser um método que define a tomada de decisão como algo complexo, ao mesmo tempo que, fornece metodologias racionais para a estruturação e análises para diversas funcionalidades, como redução do custo de manutenção e aumento da produção de energia, é amplamente utilizado no setor elétrico (BURTON; HUBACEK, 2007).

Na análise é possível (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2011):

- a) abordar informações qualitativas e quantitativas;
- b) apresentar, de maneira explícita, os objetivos e valores dos decisores;
- c) permitir aos decisores refletir sobre seus objetivos, prioridades e preferências;
- d) desenvolver um conjunto de condições e meios para informar as decisões em função do que o decisor achar mais adequado.

Para aplicação do método são atribuídas três fases distintas, a fase de estruturação, a fase de avaliação e a fase de elaboração de recomendações, conforme Figura 30 (DUTRA, 1998).

**Figura 30 – Fases do MCDA**



Fonte: Dutra (1998).

Na fase de estruturação é definido o contexto e construído a árvore de ponto de vistas, conforme modelo apresentado na Figura 15. Os pontos de vista fundamentais são eixos que permitem a avaliação separável, ainda é possível separar a avaliação em pontos de vista elementares. Até chegar nos descritores, que podem ser construídos de forma direta, indireta ou construídos, qualitativos ou quantitativos e discretos ou contínuos (NOVAK, 2018). Na fase de avaliação é definido a escala de preferência entre os níveis estabelecidos na estrutura do método e a identificação do perfil de desempenho das ações potenciais (LONGARAY *et al.*, 2016). Na etapa de recomendações, o decisor tem, por meio da análise MCDA, informações de apoio para fazer a escolha entre as alternativas de maneira a obter melhorias em nível estratégico (ENSSLIN, 2013)

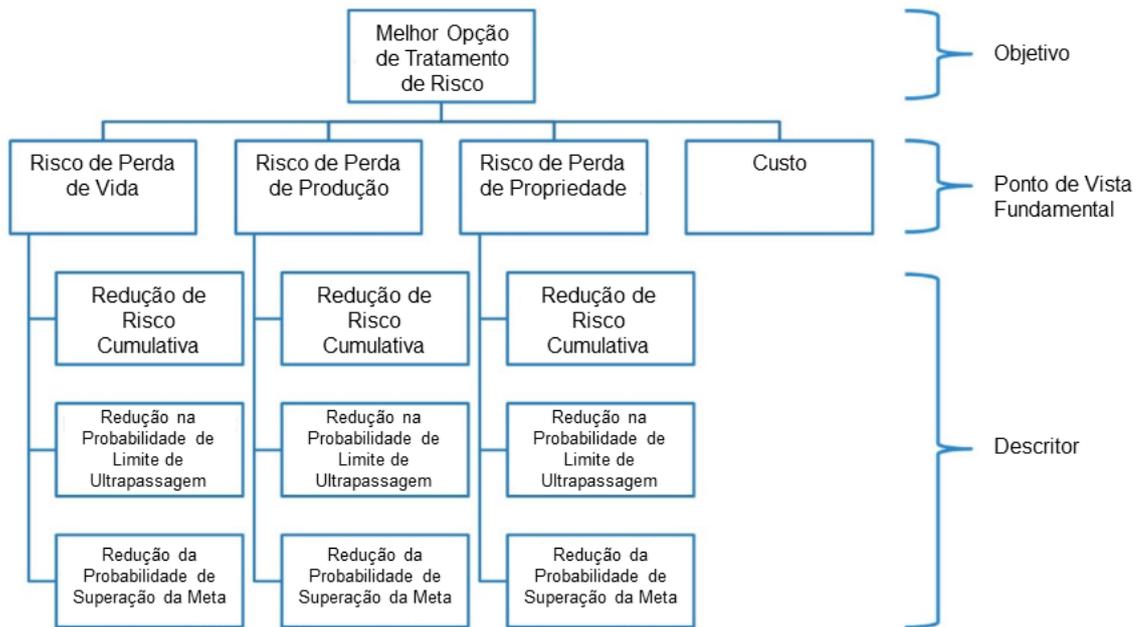
Dentre as técnicas para análise multicriterial, a técnica mais utilizada, para aplicação para tomada de decisão no âmbito de gestão de ativos, é o processo de hierarquia analítica (AHP - *analytic hierarchy process*), uma extensão do método de comparação em pares (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

#### 4.5.1 Processo de análise de hierarquia (AHP)

AHP busca a comparação em pares dos critérios. Na comparação é avaliado quanto e qual critério é mais importante que o outro, resultando em uma escala normalizada até 1. Para registro de preferência dos critérios, deve-se criar uma matriz de comparação em pares. A importância relativa dos critérios é posteriormente dimensionada com base em um conjunto de regras prescritas e os *trade-off* finais são calculados aplicando a média aritmética ou o método dos mínimos quadrados (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019).

O método AHP, também, é muito utilizado para decisão de alternativa prioritárias, em que tomadores de decisão avaliam diversos critérios, estruturando-os em ponto de vistas fundamentais e descritores, de acordo com a Figura 31 (SYED; LAWRYSHYN, 2020). Conforme é especificado da fase de estruturação dos métodos de análise multicriterial.

**Figura 31 – Estrutura de decisão AHP**



Fonte: Syed e Lawryshyn (2020).

Os pontos de vistas e descritores são comparados par a par conforme estrutura de ligação e *trade-off*, e são estabelecidos níveis de preferência de um sobre o outro, de acordo com a escala Saaty's, que está apresentada na Tabela 5. O objetivo de ponderar a decisão é selecionar a melhor alternativa (SYED; LAWRYSHYN, 2020).

**Tabela 5 – Escala numérica AHP com interpretação linguística**

Intensidade de Importância	Definição	Definição
1	Igual importância	Dois fatores contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Pouco mais importante	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um em relação ao outro
5	Muito mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente um em relação ao outro
7	Bastante mais importante	Experiência e julgamento favorecem muito fortemente um em relação ao outro
9	Extremamente mais importante	A evidência que favorece um em relação ao outro é o nível mais elevado possível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando é necessário

Fonte: Saaty (1980).

Os critérios de avaliação das alternativas  $r_1, r_2, \dots, r_n$  são comparadas pelo grau de preferência entre si. Na Equação 7 é possível ver a construção da matriz comparação, na avaliação par a par das alternativas  $i$  e  $j$ . O valor de comparação é estabelecido conforme definições apresentadas na Tabela 5, de acordo com a escala linguística (HAO *et al.*, 2019).

$$A = [r_{ij}], r_{ij} = \frac{1}{r_{ji}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad i = j \rightarrow 1 \quad (7)$$

A matriz comparação é apresentada na Figura 32.

**Figura 32 – Matriz de Comparação**

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
N1	1	3	3	5	7	9	9
N2	0,3333	1	3	5	7	9	9
N3	0,3333	0,3333	1	3	5	7	9
N4	0,2	0,2	0,3333	1	3	5	7
N5	0,1429	0,1429	0,2	0,3333	1	3	5
N6	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,3333	1	3
N7	0,1111	0,1111	0,1111	0,1429	0,2	0,3333	1

Fonte: Elaboração própria (2020).

Uma vez que a matriz comparação  $A$  foi elaborada, o autovalor máximo  $\lambda_{max}$  é determinado por meio da Equação 8 (HAO *et al.*, 2019):

$$(A - \lambda_{max}I) = 0 \quad (8)$$

Onde:

$A$  – Matriz recíproca,

$\lambda_{max}$  – Autovalor máximo matriz  $A$ ;

$I$  – Matriz identidade

A consistência da matriz deve ser testada, ao passo que as comparações dos pares devem ser respeitadas. Para tanto, é calculado o índice de consistência (CI), indicado na Equação 9 (HAO *et al.*, 2019):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

Onde:

$CI$  – índice de consistência,

$\lambda_{max}$  – autovalor máximo matriz  $A$ ;

$n$  – ordem da matriz quadrada.

Com base nesse valor deve ser estabelecido o valor máximo de inconsistência. Assim, é preciso encontrar a relação de consistência (CR), que é a comparação do índice de consistência da matriz recíproca (CI), com o índice de consistência de uma matriz gerada aleatoriamente (RI). O valor máximo aceitável, que garante a consistência da matriz recíproca é 10%. Caso o valor não seja alcançado, o processo de comparação par a par das alternativas deverá ser refeito. O cálculo do CR é indicado na Equação 10 (HAO *et al.*, 2019):

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

Os valores de RI variam de acordo com o tamanho da matriz, e assumem os valores apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Índices de consistência aleatória**

n - ordem da matriz	RI
1	0,00
2	0,00
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45
10	1,49

Fonte: Adaptado de Costa (2006).

## 5 MODELAGEM PROPOSTA

O modelo proposto nesse trabalho visa estabelecer a estrutura para tomada de decisão baseado na análise de decisão multicriterial, por meio da técnica AHP. Não será desenvolvido a avaliação e nem a elaboração de recomendações.

O modelo tem o objetivo de integrar métodos de análise de desempenho, análises financeiras e econômicas, requisitos de gestão de ativos presentes na norma ABNT NBR ISO 55001 e os riscos presentes no ambiente socioambiental e regulatório. A fim de estabelecer indicativos sobre a condição do ativo como forma de recomendar ou não ações de intervenções.

Segundo Petchrompo e Parlikad (2019), as decisões que devem ser tomadas sobre os ativos abrangem:

- a. política de intervenção: envolve definir atividades de inspeção, reparos e trocas. Em formatos de manutenção são incluídos manutenção em grupo, substituição em bloco, canibalização, manutenção de oportunidade e políticas de seleção de manutenção;
- b. cronograma de intervenção: determina períodos ótimos para realização da manutenção preventiva, a fim de priorizar o mínimo impacto na produção e na operação. Aspectos financeiros devem integrar a solução;
- c. gestão de sobressalentes: estabelece níveis de estoque e gestão de inventário. Busca estabelecer um equilíbrio entre o custo de retenção, custo de pedido e custo de tempo de inatividade do sistema;
- d. seleção de equipamentos e ativos: trabalha para selecionar os ativos mais apropriados para o sistema e contexto organizacional;
- e. manutenção, reparo e reabilitação: define a viabilidade ou não da ação de intervenção, embasado no conjunto de opções para obtenção do máximo benefício para a organização e suas *stakeholders*;
- f. priorização de ativos: determina quais são os ativos mais críticos do sistema, destinando, assim, maiores recursos para eles. Os critérios podem envolver diminuição da performance, nível de risco (probabilidade e consequência), etc.;

- g. alocação do orçamento: estabelece os valores disponíveis para diferentes custos, para opções de intervenção e manutenção da performance. Para situações em que não são definidos os pontos de melhoria e confiabilidade do ativo, a alocação do orçamento se torna algo bem complicado;

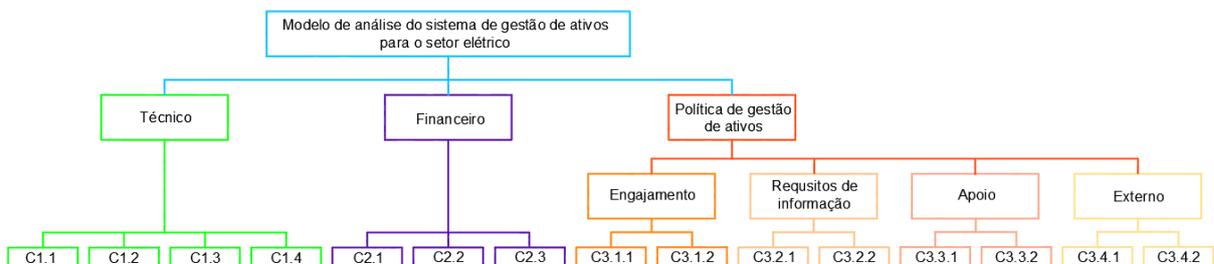
Para os principais conceitos avaliativos dentro de um processo de escolha de estratégia e tomada de decisão em um ambiente de gestão de ativos, Lucio, Nunes e Teive (2009) destacam:

- i) os aspectos técnicos – por meio da cadeia de Markov, dividindo o ativo em três estágios e um estágio terminal;
- ii) os aspectos econômicos – por meio do método de fluxo de caixa do valor presente líquido associado ao ciclo de vida do ativo;
- iii) os aspectos ambientais – uma variável qualitativa que mede impactos ambientais, em que se pode destacar o uso de novas tecnologias como forma de diminuir a degradação do meio ambiente;
- iv) as condições do equipamento – por meio da análise do comportamento do ativo e dados medidos deste.

## 5.1 Estrutura do modelo

A estrutura do modelo é apresentada na Figura 33, são observados na base os descritores, em sequência os pontos de vistas elementares, quando aplicável, acima, estão os pontos de vista fundamentais, até chegar no objetivo do modelo.

**Figura 33 – Estrutura de análise do sistema de gestão de ativos para o setor elétrico**



Fonte: Elaboração própria (2020).

O modelo conta com três pontos de vistas fundamentais, Técnico, Financeiro e Política de gestão de ativos. Dentro do terceiro PV fundamental, são inseridos mais quatro pontos de vista elementar, são eles: engajamento, requisitos de informação, apoio e externo.

Os descritores são apresentados na Tabela 7, em que são descritos como Ci.j, onde i refere-se ao PV fundamental e j ao descritor, para casos que não se aplica os pontos de vista elementares. Quando houver pontos de vista elementares, os descritores são descritos como Ci.z.j, onde z refere-se ao PV elementar.

**Tabela 7 – Descritores**

	Descritor	Ponto de Vista Fundamental	Ponto de Vista elementar
C1.1	Potencial consequência	Técnico	-
C1.2	Taxas de Falhas	Técnico	-
C1.3	Nível de degradação	Técnico	-
C1.4	Análise de condição	Técnico	-
C2.1	Custo de operação e de capas	Financeiro	-
C2.2	Custo de substituição	Financeiro	-
C2.3	Oportunidade	Financeiro	-
C3.1.1	Comprometimento da liderança	Política de gestão de ativos	Engajamento
C3.1.2	Engajamento da equipe	Política de gestão de ativos	Engajamento
C3.2.1	Nível de informação	Política de gestão de ativos	Requisitos de Informação
C3.2.2	Qualidade de informação	Política de gestão de ativos	Requisitos de Informação
C3.3.1	Competência técnica	Política de gestão de ativos	Apoio
C3.3.2	Nível de integração	Política de gestão de ativos	Apoio
C3.4.1	Efeitos socioambientais	Política de gestão de ativos	Externo
C3.4.2	Efeitos regulatórios	Política de gestão de ativos	Externo

Fonte: Elaborado própria (2020).

No modelo proposto, os pontos de vista são definidos para abranger portfólio de ativos, frota de ativos e ativos unitários

#### 5.1.1 Pontos de vista fundamentais

Os pontos de vista fundamentais são separados em Técnico, Financeiro e Política de gestão de ativos.

#### 5.1.1.1 Técnico

Os aspectos técnicos abordados utilizam as técnicas para análise de desempenho. Foram utilizadas a metodologia Delphi, a análise da cadeia de Markov, FMECA e a análise de condição para compor o ponto de vista.

O objetivo é estabelecer análises sobre a condição de operação dos ativos ou sistemas de ativos. Afinal, de acordo com Roda e Garetti (2014), para obter um sistema eficiente e competitivo, é preciso mapear os efeitos provenientes de uma falha, manutenção, tempo de reparo, etc., a fim de estabelecer medidas para avaliar os impactos na continuidade do sistema, na segurança e meio ambiente.

#### 5.1.1.2 Financeiro

Os aspectos financeiros consideram os valores associados ao ciclo de vida do ativo e custo total de proprietário, a fim de estabelecer níveis as condições financeiras de operação. Os descritores indicam possibilidades de substituição, custos de oportunidade e processos com custo superiores aos estabelecidos.

Johnson, Strachan e Ault (2012) enfatizam que o orçamento é um limitador para avaliação do ativo, ou seja, serve como delimitador de ações de intervenção. Por isso que as condições relacionadas aos custos e investimentos são abordadas como pontos de vista fundamentais. Tamimi, Beullens e Sadnicki (2016) destacam alguns aspectos que devem ser considerados para uma ação de investimento, como: valor potencial agregado nessa decisão, período de análise e restrições de orçamento.

Os descritores, além de prestarem apoio para a tomada de decisão de investimento, auxiliam para escolhas em níveis gerenciais, como a priorização de ações com melhores custos-benefícios (RODA; GARETTI, 2014).

#### 5.1.1.3 Política de gestão de ativos

O ponto de vista objetiva averiguar se as boas práticas de gestão de ativos estão presentes nos ativos ou sistemas de ativos a serem analisado. Para avaliação da política de gestão de ativos, forma divididos mais 4 pilares elementares.

O objetivo de abordar esse PV é verificar se existe a política de gestão de ativos, o *SAMP* e os objetivos da gestão de ativos definidos, e se estes estão alinhados com os objetivos da organização; medir a integração entre os requisitos (sistema de gestão com processos de negócios) e a disponibilidade; avaliar se há o bom entendimento do sistema, a colaboração multifuncional, a melhoria contínua e gestores motivados. Por fim, avalia os riscos socioambientais e regulatórios (ABNT, 2014b).

### 5.1.2 Descritor

Os descritores são dimensionados conforme parâmetros estabelecidos no item 4.5.1 deste trabalho. Primeiro é definido os critérios para cada descritor, depois é realizado a comparação par a par desse critério, conforme nível de preferência, construindo, assim, a matriz preferência, de acordo com a Figura 32. Para averiguar a correta distribuição, é realizado o cálculo, conforme Equação 8, do autovalor, em seguida, o valor de relação de consistência, conforme Equação 10, este resultado deve ser inferior a 10%. Com os valores aprovados, é montado a escala de preferência de acordo com uma distribuição normal dos parâmetros. A matriz de preferência, o autovalor, a relação de consistência e escala normalizada, bem como, linha de tendência dos níveis de impacto são apresentados no Apêndice para cada descritor.

#### *C1.1 – Potencial consequência:*

Objetiva a análise baseada na opinião de especialistas para definir quais as potenciais consequências relacionadas à falha. Processo construído com base no método Delphi. A importância do critério é refletida para ativos de distribuição, já que a falha de um ativo pode ocasionar o não fornecimento de energia elétrica aos consumidores, situação que é penalizada pela ANEEL. Bem como, ativos de transmissão, quando sofrem alguma falha, as organizações podem ter suas receitas reduzidas pela perda de disponibilidade do sistema.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 7 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 8. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice A.

**Tabela 8 – C1.1 – Potencial consequência**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Ao ocorrer a falha, o ativo não causará efeito aos ativos ao redor e não apresenta risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .
N2	Ao ocorrer a falha, o ativo causará efeito mínimo aos ativos ao redor, tempo de restabelecimento baixo, não apresenta risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .
N3	Ao ocorrer a falha, o ativo causará efeito mínimo aos ativos ao redor, tempo de restabelecimento médio, não apresenta risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .
N4	Ao ocorrer a falha, o ativo causará efeito aos ativos ao redor, tempo de restabelecimento médio, não apresenta risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .
N5	Ao ocorrer a falha, o ativo causará efeito aos ativos ao redor, tempo de restabelecimento médio, apresenta potências risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> , quando o tempo de restabelecimento for superior ao permitido.
N6	Ao ocorrer a falha, o ativo causará efeito ao sistema, tempo de restabelecimento grande, apresenta risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .
N7	Ao ocorrer uma falha, iniciará um efeito em cascata derrubando todo o sistema. Apresenta grande risco aos objetivos organizacionais e relacionamento com as <i>Stakeholders</i> .

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### *C1.2 – Taxa de falhas:*

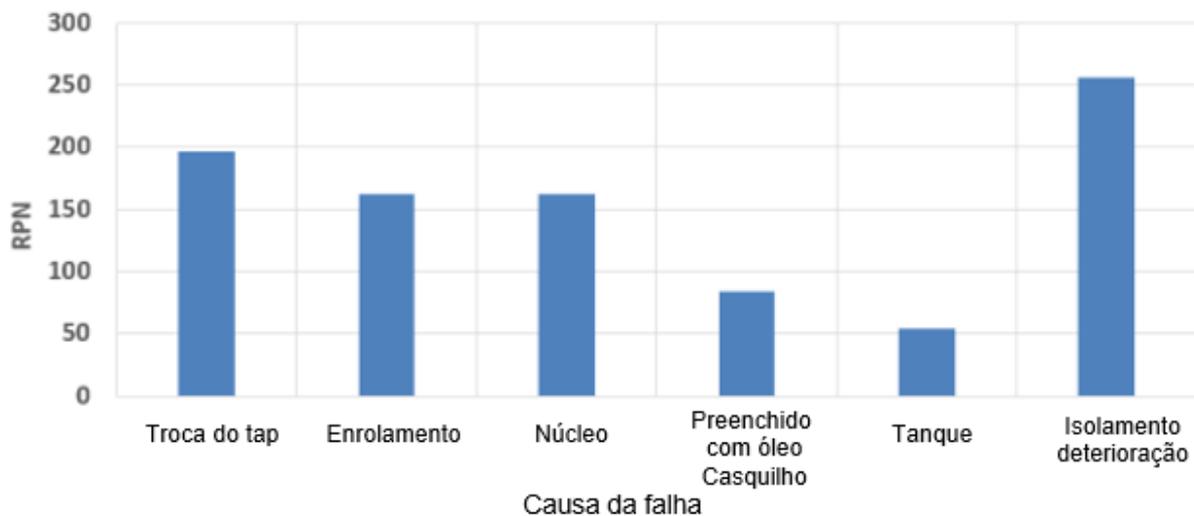
O critério utiliza a análise FMECA para encontrar o valor de taxa de falha, análise que foi apresentado no item 4.2, esse critério tem como objetivo estabelecer o potencial de falha dos ativos através da pontuação do modo de falha, efeitos e probabilidades de falhas. A construção do critério é baseada na relação do valor limite em relação ao contexto estabelecido, com o valor característico (real), conforme indicado na Equação 11. Pode ser utilizado como *benchmarking* comparativo.

$$C_{1.2} = \left( 1 - \left( \frac{\text{estabelecido} * 0,75}{\text{medido}} \right) \right) \times 100\% \rightarrow \text{medido} < 0,75 * \text{estabelecido} \rightarrow C_{1.2} = 0 \quad (11)$$

Para análise de transformadores, que estão sujeitos a falhas de todo o tipo, o método FMECA ponderou as falhas críticas de um transformador, em cima das condições de operação e características do equipamento, conforme Figura 34

(KHALIL, 2018). O que mostra a relevância do critério em estabelecer um parâmetro de descasamento entre a situação tolerável e a situação que oferece risco a operação.

**Figura 34 – Prioridade de risco principais falhas - Transformador**



Fonte: Khalil (2018).

O critério é quantitativo, contínuo e construído. O valor é mensurado na escala de 0 a 100%, onde valores próximos a zero, não é necessário ações de intervenções, à medida que o valor cresce, a possibilidade de falha aumenta, antes de chegar a 100%, o ativo já deve ter falhado, não há níveis de impacto. Os valores encontrados estão apresentados no Apêndice B.

### *C1.3 – Nível de degradação:*

Por meio da análise da cadeia de Markov, o critério tem o objetivo de obter a probabilidade de um ativo piorar seu estado  $X$  para o estado  $Y$ . Os estados estão definidos de acordo com os índices de saúdes dos ativos apresentados na Tabela 3. A Equação 12 indica a construção do critério.

$$C_{1.3} = (1 - (Prob_{1 \rightarrow 2} x 0,1 + Prob_{2 \rightarrow 3} x 0,2 + Prob_{3 \rightarrow 4} x 0,3 + Prob_{4 \rightarrow 5} x 0,4)) \quad (12)$$

O critério é quantitativo, contínuo e construído. O valor é mensurado na escala de 0 a 100%, em que os valores próximos a zero, não é necessário ações de intervenções, à medida que o valor vai crescendo, as mudanças que ocorrem na saúde do ativo, tornam a situação menos favorável. Os valores encontrados estão apresentados no Apêndice C.

#### C1.4 – Análise de condição:

O critério prevê avaliar, de acordo com a análise de condição descrito no capítulo 4.4.1 e dados e informações operacionais estabelecidos e medidos, indicar em qual situação o ativo se encontra. Na avaliação de condição (saúde) é estabelecido um valor para cada estado, com enfoque nos resultados obtidos na inspeção e medição deles, tornando-se um índice de integridade do ativo. Os níveis de impacto são adaptados dos índices apresentados por Strachan e Ault (2012), e são apresentados na Tabela 9.

A condição do ativo está ligada a probabilidade de falha, a final, quanto maior a probabilidade de falha do ativo, pior é a condição deste. A obtenção de dados e informações de ativos são fundamentais. (JOHNSON; STRACHAN; AULT, 2012).

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 5 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 9. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice D.

**Tabela 9 – C1.4 – Análise de condição**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Novo ou estado novo
N2	Boa condição de serviço
N3	Requer análise e acompanhamento da deterioração
N4	Requer intervenção para controlar a deterioração
N5	Final do ciclo de vida, intervenção é inevitável.

Fonte: Adaptado de Strachan e Ault (2012).

#### C2.1 – Custo de operação e de capital:

Critério utilizado para comparar os gastos operacionais com os gastos operacionais estabelecidos no contexto pré-estabelecido, ou critérios de *benchmarking*. O objetivo é definir se o ativo está despendendo um valor maior do que era planejado ou critérios do mercado, que podem ter melhorado de acordo com novas tecnologias. O critério é calculado conforme Equação 13.

$$C_{2.1} = 1 - \left( \frac{\text{Custos medidos}}{\text{Custos orçados}} \right) \rightarrow C. medidos < C. orçados \rightarrow C_{2.1} = 0 \quad (13)$$

O critério é quantitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 10. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice E.

**Tabela 10 – C2.1 – Custo de operação e de capital**

Nível de Impacto	Descrição
[0, 0,05[	Valor ligeiramente acima
[0,05, 0,1[	Valor acima, acompanhar
[0,1, 0,15[	Valor acima, reavaliar condições de operações e manutenções
[0,15, 0,2[	Valor bem acima, avaliar possibilidade de trocas ou ações de intervenção.

Fonte: Elaboração própria (2020).

Uma forma para encontrar os custos referentes ao ativo é por meio do cálculo dos custos do ciclo de vida do ativo (LCC). Marques, Haddad e Martins (2006) apresentam um modelo para transformadores de potência. No modelo exemplo são considerados os custos das perdas em vazio, Equação 14, os custos das perdas em carga, Equação 15, os custos de investimento, Equação 16, e os custos do reativo, Equação 17. Os custos de reativos são relacionados com o aumento de eficiência de transformadores, quando atuam em baixa carga, entretanto, faz com que os valores de fator de potência diminuam e faz-se necessário a correção por outras vias.

$$CV_{ij} = P_{0i} * (Td_j + Te_j * \Delta T_j) \quad (14)$$

$$CO_{ij} = P_{JNi} * f_{cj}^2 * (Td_j + Te_j * \Delta T_j) \quad (15)$$

$$CI_i = INV_i * \frac{r * (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (16)$$

$$CR_i = Q_{oi} * CMC * \frac{r * (1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \quad (17)$$

Onde:

$CV_{ij}$  – custos das perdas em vazio do transformador i durante o período j (R\$);

$CO_{ij}$  – custos operacionais do transformador i durante o período j (R\$);

$CI_i$  – custo de investimento no transformador i (R\$);

$INV_i$  – investimento no transformador i (R\$);

$CR_i$  – custo de oportunidade no transformador i (R\$);

$CMC$  – custo médio do capacitor na tensão de utilização (R\$/kvar)

$P_{0i}$  – perdas em vazio do transformador  $i$  (kW);

$P_{JNi}$  – perda Joule nominal do transformador  $i$  (kW);

$Q_{0i}$  – perdas de potência reativa do transformador  $i$  (kvar);

$f_{cj}$  – fator de capacidade do transformador durante o período  $j$  (pu);

$r$  – taxa de juros (pu);

$n$  – vida útil do transformador (anos);

$m$  – vida útil do capacitor (anos);

$CMC$  – custo médio do capacitor na tensão de utilização (R\$/kvar)

$Td_j$  – tarifa de demanda no período  $j$  (R\$/kW);

$Te_j$  – tarifa de energia no período  $j$  (R\$/kW);

$\Delta T_j$  – número de horas que o transformador permanece energizado durante o período  $j$  (h);

Os valores para compor o LCC devem ser corrigidos para o valor presente líquido (VPL), menos o custo de investimento, associado ao ano zero. Assim, o LCC pode ser calculado conforme Equação 18 (LI *et al.*, 2010).

$$LCC = CI_1 + CR_1 + + \left( CV_{1j} + \frac{CV_{1j}}{1+i} + \dots + \frac{CV_{1n}}{(1+i)^{n-1}} \right) + \left( CO_{1j} + \frac{CO_{1j}}{1+i} + \dots + \frac{CO_{1j}}{(1+i)^{n-1}} \right) \quad (18)$$

Onde:

$n$  – ano;

$i$  – taxa de juros.

### *C2.2 – Custo de substituição:*

O critério tem o objetivo de estabelecer se vale a pena a substituição do ativo com base nos custos em valores monetários de OPEX e CAPEX anuais, anos restante de vida útil, possibilidade de falha, custo de investimento em um novo ativo e TCO do novo ativo e TCO do ativo. O critério por si só não afirmar se a troca é a melhor decisão, mas quando utilizado em conjunto com a análise de condição do ativo

e custo de oportunidade, proporciona maior robustez na decisão. A Equação 19 indica a forma de quantificar o critério.

$$C_{2.2} = \left( \frac{CI}{LCC \times \text{ano} \times \text{prob.de falha}} \right) \times 0,4 + \left( \frac{TCO_{\text{novo ativo}}}{TCO} \right) \times 0,6 \quad (19)$$

Onde:

CI – custo de investimento;

LCC – custo de ciclo de vida;

ano – números de anos de vida útil;

TCO – Custo total do proprietário para o ativo existente;

TCO novo ativo – Custo total do proprietário para o novo ativo.

A primeira parte do equacionamento é referente ao custo do investimento do novo ativo, relacionado aos custos de ciclo de vida, versus a quantidade de anos útil e a probabilidade de falha do ativo existente. A ideia é encontrar a razão entre o investimento e o custo atual, o que proporciona uma ideia do curto prazo. A segunda parte do equacionamento refere-se ao valor custo total do proprietário do novo ativo dividido pelo do existente. A ideia é visualizar todos os valores pertinentes das duas alternativas e estabelecer um nível de comparação, o que permite uma visão de longo prazo, que resulta em resultados mais expressivos, por isso tem um peso de 60% do equacionamento.

O critério é quantitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 11. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice F.

**Tabela 11 – C2.2 – Custo de Substituição**

Nível de Impacto	Descrição
[0,50, 0,75[	Não substituir
[0,75, 1,00[	Avaliar condições futuras
[1,00, 1,25[	Propenso a substituir
[1,25, 1,5[	Substituir

Fonte: Elaboração própria (2020).

Existem duas formas de se obter o valor do TCO, por meio da análise *ex-post* com “cálculos baseados em dados históricos ou reais”. Ou por estimativa *ex-ante*,

que “visa uma previsão estática ou dinâmica dos custos totais por meio de taxas de custos e comportamento estimado ao longo do ciclo de vida”. A escolha entre as duas alternativas varia, de modos que, se há dados históricos ou reais confiáveis, a análise *ex-post* se torna fácil, rápida e confiável. Em cenários sem dados históricos ou reais e com custos dinâmicos, como é, normalmente, os custos de manutenção, ligados ao comportamento real do sistema, a estimativa *ex-ante* se torna uma solução mais confiável e indicada (RODA; GARETTI, 2014). No Anexo C é apresentado uma estrutura para calcular o TCO.

### C2.3 – Oportunidade:

Crítério tem o objetivo de avaliar a capacidade do orçamento de realizar novos investimentos, em virtude do TCO do ativo existente em relação ao TCO do ativo a ser implementado. O objetivo é avaliar se há recurso disponível e vantagem econômica com a troca.

Segundo Zampolli (2018), a aquisição e substituição de um ativo está relacionado mais que seu valor inicial, então, sempre é preciso avaliar a condição dos ativos em operação, novas tecnologias encontradas no mercado, custo no ciclo de vida, riscos associados à falha, eficiência energética, capacidade de sobrecarga em situações adversas. Por isso, o TCO mostra-se mais adequado para o critério.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 5 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 12. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice G.

**Tabela 12 – C2.3 – Oportunidade**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Sem previsão de melhoria contínua.
N2	Melhoria contínua presente nos objetivos organizacionais, sem orçamento previsto para investimento. Custo vs benefício de troca empatado.
N3	Melhoria contínua presente nos objetivos organizacionais, sem orçamento previsto para investimento. Custo vs benefício de troca positivo
N4	Melhoria contínua presente nos objetivos organizacionais, orçamento previsto para investimento. Custo vs benefício de troca empatado
N5	Melhoria contínua presente nos objetivos organizacionais, orçamento previsto para investimento. Custo vs benefício de troca positivo

Fonte: Elaboração própria (2020).

### *C3.1.1 – Comprometimento da liderança:*

Critério para avaliar o nível de dedicação que líderes demonstram ao repassar o conhecimento para a organização, em relação as políticas, objetivos e benefícios da gestão de ativos. O critério está em linha quando há uma integração entre os requisitos (sistema de gestão com processos de negócios), disponibilidade de recursos, bom entendimento do sistema, colaboração multifuncional, melhoria contínua, gestores motivados, gerenciamento de riscos na gestão de ativos alinhados com a abordagem da organização e objetivos alcançados (ABNT, 2014b).

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 5 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 13. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice H.

**Tabela 13 – C3.1.1 – Comprometimento da liderança**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Sistema de gestão integrados com os processos de negócios, disponibilidade de recursos, bom entendimento do sistema, colaboração multifuncional, melhoria contínua, gestores e colaboradores motivados e objetivos alcançados. Processo em melhoria contínua.
N2	Sistema de gestão integrados com os processos de negócios, disponibilidade de recursos, gestores e colaboradores motivados e objetivos alcançados. Contudo os colaboradores não estão totalmente familiarizados. Processo avançado.
N3	Sistema de gestão integrados com os processos de negócios, disponibilidade de recursos e gestores motivados. Contudo os objetivos ainda não foram alcançados. Processo em andamento.
N4	Disponibilidade de recursos e gestores motivados. Contudo ainda não há definição de processos. Processo iniciado.
N5	Não há qualquer intenção ou comprometimento por parte dos líderes em estabelecer as boas práticas de gestão de ativos. Não existe processo.

Fonte: Elaboração própria (2020).

### *C3.1.2 – Engajamento da equipe:*

Critério com o intuito de analisar o entendimento dos colaboradores, bem como a capacidade de assimilar e desenvolver as tarefas de gestão de ativos. Para ter alto nível, os funcionários devem conhecer os objetivos e benefícios da gestão de ativos, matrizes de responsabilidade, participar efetivamente da organização.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 14. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice I.

**Tabela 14 – C3.1.2 – Engajamento da equipe**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Alta adesão de colaboradores em atividades de gestão de ativos, processos de identificação e aplicação de melhorias estabelecidos e divulgados. Os funcionários se sentem como <i>owner asset</i> .
N2	Colaboradores chaves participam das atividades de gestão de ativos, processos de identificação de melhorias estabelecidos e divulgados. Os funcionários se sentem relevantes.
N3	Somente os colaboradores da área de gestão de ativos participam das atividades de gestão de ativos, processos de identificação de melhorias em andamento. Equipe consciente de sua importância e papel na organização.
N4	Não há área de gestão de ativos. Os funcionários não conhecem os benefícios e objetivos das boas práticas de gestão de ativos.

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### *C3.2.1 – Nível de informação:*

O controle, classificação, confecção e distribuição das informações tem impacto direto ao sistema de gestão de ativos. Então, há a necessidade de assegurar que as informações sejam consistentes, rastreáveis e permitam fácil acesso de quem possa interessar. A ABNT NBR ISO 55000 traz requisitos para registro da informação documentada, que auxilia no atendimento de requisitos legais e regulatórios, ao passo que atende as partes interessadas e os objetivos organizacionais (ABNT, 2014b).

O critério visa estabelecer se há informações sobre processos e ativos, se a estrutura é fácil e otimizada, se existem padrões de registro e acessibilidade. O critério avalia se o processo de comunicação é eficiente, se existe requisitos de informações para cumprimento de processos, seja para iniciar, seja para finalizar, ou para acompanhamentos periódicos e os métodos de classificação e integração das informações (ABNT, 2014b).

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 5 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 15. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice J.

**Tabela 15 – C3.2.1 – Nível de informação**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Processo claro e definido para registro da informação da organização, da complexidade dos processos e suas interações, das competências e da complexidade dos ativos. Estejam disponíveis e adequadas para uso e com controle de alterações.
N2	Processo definido para registro da informação da organização, da complexidade dos processos e suas interações, das competências e da complexidade dos ativos. Estão disponíveis e mas o controle de alterações não é claro.
N3	Processo não registra todas as informações da organização, da complexidade dos processos e suas interações, das competências e da complexidade dos ativos. Não há todas as informações necessárias, mas o controle de alterações funciona.
N4	Processo não registra todas as informações da organização, da complexidade dos processos e suas interações, das competências e da complexidade dos ativos. Não há todas as informações necessárias, nem controle de alterações.
N5	Processo registra poucas informações da organização, da complexidade dos processos e suas interações, das competências e da complexidade dos ativos. Não há todas as informações necessárias, nem controle de alterações.

Fonte: Elaboração própria (2020).

### *C3.2.2 – Qualidade de informação:*

Este critério visa atender aos requisitos de informações sugeridos na ABNT NBR ISO 55001 e avalia a qualidade de informação, tempo de registro e sua relevância (revisão), tempo gasto para encontrar um documento, a qualidade dos documentos encontrados, dados históricos, relevância das informações.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 3 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 16. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice K.

**Tabela 16 – C3.2.2 – Qualidade de informação**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Os documentos são facilmente de forma rápida e otimizada, são identificados com descrições e formatos estabelecidos, são analisados criticamente e aprovados conforme pertinência e adequação. Existem dados históricos.
N2	Os documentos estão de forma desordenada, contudo são analisados criticamente e aprovados conforme pertinência e adequação. Existem dados históricos.
N3	Os documentos não são analisados e cada colaborador utiliza a versão lhe convém.

Fonte: Elaboração própria (2020).

### *C3.3.1 – Competência técnica:*

O critério analisa a qualidade da competência do corpo técnico, gestão de sobressalentes e recursos disponível, e mão de obra terceirizada. É de suma importância que a estrutura de gestão de ativos tenha os recursos necessário para estabelecer, implantar, operar e se adaptar, por meio de um corpo técnico qualificado, que quando necessário, faça treinamento para adquirir competências (ABNT, 2014b). Em processo terceirizados, a organização deve controlar os processos, a fim de estabelecer escopo, responsabilidades e autoridades.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 17. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice L.

**Tabela 17 – C3.3.1 – Competência técnica**

Nível de Impacto	Descrição
N1	É presente na organização recursos para estabelecer, implantar, operar e se adaptar, por meio de um corpo técnico qualificado, gestão de materiais e mão de obra terceirizada, a gestão de ativos. Incentiva o desenvolvimento técnico.
N2	É presente na organização recursos para estabelecer, implantar, operar e se adaptar, por meio de um corpo técnico qualificado e gestão da mão de obra terceirizada, a gestão de ativos. Não consegue gerir os materiais. Incentivo o desenvolvimento técnico.

N3	É presente na organização recursos para estabelecer, implantar, operar e se adaptar, por meio de um corpo técnico qualificado, a gestão de ativos. Contudo, não consegue gerir os materiais e garantir a qualidade da mão de obra terceirizada.
N4	Existe um corpo técnico qualificado, mas não é direcionado para o alcance dos objetivos da gestão de ativos.

Fonte: Elaboração própria (2020).

### C3.3.2 – *Nível de integração:*

Os planos de gestão de ativos necessitam estar integrados com outras atividades de planejamento organizacional e com requisitos externos. Deve ser capaz de interagir com todas as atividades organizacionais, abordar grande parte da estrutura organizacional, transmitir e captar informações, integrar fatores humanos e culturais e fornecer melhoria contínua (ABNT, 2014b).

O critério estabelece níveis para analisar o fluxo de definição das áreas responsáveis, interfaces e tempo de atuação nas demandas, o relacionamento entre áreas, tempo de efetivação de processos e disponibilização de informação.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 18. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice M.

**Tabela 18 – C3.3.2 – Nível de integração**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Matriz de responsabilidades definida e amplamente divulgada. Processos mapeados e gerentes de áreas correlatas conhecem o cronograma e entregáveis um do outro. Existem políticas para colaboração entre funcionários.
N2	Matriz de responsabilidades definida e amplamente divulgada. Processos mapeados e gerentes de áreas correlatas entendem as necessidades um do outro, embora não conheçam os prazos e os entregáveis. Existem políticas para colaboração entre funcionários.
N3	Não há uma matriz de responsabilidades claramente estabelecida. Processos são poucos conhecidos e os gerentes de áreas correlatas conhecem informalmente as necessidades um do outro.
N4	Existem políticas para colaboração entre funcionários, mas não existe uma orientação clara as funções e responsabilidades de cada membro da organização.

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### *C3.4.1 – Efeitos socioambientais:*

O critério é baseado na avaliação do risco. Primeiro deve-se identificar os riscos que geram efeitos socioambientais, depois é feita a análise, e por último a avaliação para priorização dos riscos. Para definição do valor do risco é utilizado a Equação 1 em conjunto com a matriz de risco, conforme Figura 18. E as consequências socioambientais são priorizadas de acordo com as maiores consequência dentro de uma probabilidade desse evento ocorrer.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 4 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 19. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice N.

**Tabela 19 – C3.4.1 – Efeitos socioambientais**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Desprezível
N2	Menor
N3	Moderado
N4	Sério
N5	Crítico

Fonte: Adaptado de Zampolli (2018).

#### *C3.4.2 – Efeitos regulatórios:*

Este o critério visa estabelecer as condições toleráveis de atuação no comprimento de regulações e requisitos legais. Assim, é realizado a avaliação do risco. Para definição do valor do risco é utilizado a Equação 1 em conjunto com a matriz de risco, conforme Figura 18. De acordo os níveis de risco, é dado mais ênfase no atendimento e melhoria dos requisitos com maiores consequências dentro de um perfil de probabilidade alto.

O critério é qualitativo, discreto e construído. Foram atribuídos 3 níveis de impacto para o critério, a escala é apresentada na Tabela 20. Os valores encontrados pelo método AHP estão apresentados no Apêndice O.

**Tabela 20 – C3.4.2 – Efeitos regulatórios**

Nível de Impacto	Descrição
N1	Inferior
N2	Intermediário
N3	Superior

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Com todos os critérios definidos, o próximo passo seria a análise de avaliação das alternativas.

### 5.1.3 Avaliação do modelo

O objetivo do modelo é criar condições para gestores de ativos se estruturarem em meio aos diversos aspectos e contextos encontrados tanto no setor elétrico como na avaliação para tomada de decisão.

Para fazer a análise do modelo atribuindo *trade-offs* entre os descritores, pontos de vista elementares e pontos de vista fundamentais, seria necessário estabelecer os objetivos organizacionais, já que a partir deles, são feitas as priorizações e preferencias.

O resultado da análise multicriterial de decisão deverá ser uma indicação, em que afirma a condição do ativo, com as seguintes opções:

- i) ativo conforme – nenhum ponto de vista elementar indicou valores abaixo do estabelecido;
- ii) visitar processos – houve valores a baixos dos esperados no PV política de gestão de ativos ou financeiro;
- iii) intervir de forma preditiva/preventiva – houve valores a baixos dos esperados no PV técnico em conjunto com o PV financeiro;
- iv) intervir de forma corretiva – existe alguma situação crítica em algum dos PV ou no conjunto de PV.

O modelo pode ser utilizado em conjunto com análises de cenários, já que a análise forneceria situações de ‘melhor caso’, ‘pior caso’ e ‘caso esperado’, em que, a consequência de cada cenário pode ser usada como uma forma de análise da

sensibilidade (ABNT, 2012). Esses cenários podem decorrer do estudo de *benchmarking*, baseado nas melhores práticas e resultados do mercado, e cenários alternativos, embasado em novas tecnologias, políticas, requisitos legais, etc., ou então, utilizar o cenário base, extrapolando os valores atuais para situações futuras (ZAMPOLLI, 2018).

## 6 CONCLUSÃO

A gestão de ativos já apresenta bons resultados quando aplicado em companhias do setor elétrico. O momento agora é de diversificação e aperfeiçoamento das recomendações de boas práticas. Fóruns para debater lições apreendidas devem fazer parte desse processo de expansão.

As empresas do setor elétrico têm forte dependência em relação ao desempenho e custo dos ativos. Quando há indisponibilidade de ativos críticos, provavelmente, haverá paralização das operações das organizações, que quando não previstos, podem ser penalizadas e prejudicarem a relação com as partes interessadas. Por isso a necessidade de sempre manter boas práticas de gestão de ativos, a fim de maximizar o valor dos ativos.

O processo de avaliação de riscos deve ser realizado periodicamente, com o intuito de acompanhar potenciais alterações, novos riscos e efetividade das ações de mitigação e tratamento.

As boas práticas de gestão e as organizações do setor elétrico estão rodeados de desafios, decisões e problemas complexos. A aplicação de técnicas de análise de decisão multicritério mostram boa flexibilidade e dinamismo para atender as demandas das duas partes.

Tomadas de decisões que consideram mais que aspectos técnicos e financeiros tendem a serem as alternativas para aplicação do sistema de gestão de ativos, haja vista a gama de parâmetros existentes e a necessidade de apontar preferências entre critérios avaliativos, conforme objetivos.

Para trabalhos futuros sugere-se a verificação da validade do modelo por meio da parametrização dos critérios com base na definição dos objetivos de gestão de ativos, para tanto é preciso definir os objetivos organizacionais. Outra possibilidade para continuação do tema, sugere-se a implementação do modelo, sendo possível a aplicação em setores específico, como organizações na área de geração, distribuição ou transmissão.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR ISO 31000**: Gestão de riscos - Diretrizes. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 23 p.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55000**: Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a. 23 p.
- ABNT. **ABNT NBR ISO 55001**: Gestão de ativos - Sistemas de gestão - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b. 16 p.
- ABNT. **ABNT NBR ISO/IEC 31010**: Gestão de riscos — Técnicas para o processo de avaliação de risco. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 100 p.
- AES Tietê. **Relatório de sustentabilidade 2019**. 2020. Disponível em: <http://www.aesbrasilsustentabilidade.com.br>. Acesso em: 06 set. 2020.
- ALKHURAISSI, S. H.; ALWOHAIBI, A. A. Benefits of Implementing a New Asset Management Operating Model within Buildings and Facilities in Saudi Arabia. In: Asset Management Conference, 2016, Londres. **Anais [...]** Londres: IEEE, 2016.
- ALMA, R.; KOENEN, D. H. N. How asset management can boost the competitiveness of renewable energy. In: Asset Management Conference, 2016, Londres. **Anais [...]** Londres: IEEE, 2016.
- ANEEL. **Nota técnica nº 0075/2011-SRD/ANEEL**. Brasília, 2011.
- ARANTES, Rafael F. M.; CARPINETTI, Luiz C. R. Group decision making techniques for risk assessment: a literature review and research directions. In: IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2019, New Orleans. **Anais [...]** New Orleans: IEEE, 2019.
- BASTIAN, A.; TRYOLLINNA, A.; PRABASWARA, C. P. Health and Risk Assesment of Power Transformer in PLN Transmisi Jawa Bagian Barat. In: International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, 2017, Sanur. **Anais [...]** Sanur: IEEE, 2017.
- BAUTISTA, Wilson C. Technological infrastructure for asset monitoring systems. In: FISE-IEEE/CIGRE CONFERENCE. 2019. Medelin. **Anais [...]** Medelin: IEEE, 2019.
- BURTON, Jonathan; HUBACEK, Klaus. Is small beautiful? A multicriteria assesment of small-scale energy technology applications in local governments. **Energy Policy**, [s.l.], v. 35, n. 12, p.6402-6412, dez. 2007.
- COSTA, Helder Gomes. **Auxílio multicritério à decisão**: método AHP. Rio de Janeiro: Abepro, 2006.
- DOHALE, V. D.; AKARTE, M. M.; VERMA, P. Determining the Process Choice Criteria for Selecting a Production System in a Manufacturing Firm Using a Delphi

Technique. In: International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2019, Macao. **Anais [...]** Macao: IEEE, 2019. p. 1265-1269.

DUTRA, Ademar. **Elaboração de um Sistema de Avaliação de Desempenho dos Recursos Humanos do SEA à Luz da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão**. 1998. 443 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/77663>. Acesso em 21 ago. 2020.

ENSSLIN, L. *et al.* Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 402-421, abr./jun. 2013.

FECHA, Jorge Filipe Ferreira. **Aplicação da PAS 55 ao Departamento de Operação e Manutenção da Operadora da Rede Elétrica de Distribuição**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

FUCHS, Rubens D. **Transmissão de energia elétrica: Linhas aéreas**. Vol. 1. Itajubá: LTC / EFEI, 1977.

GROENEWALD, H. J.; KLEINGELD, M.; VOSLOO, J. C. A performance-centred maintenance strategy for industrial DSM projects. In: International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2015, Cidade do Cabo. **Anais [...]** Cidade do Cabo: IEEE, 2015.

HAO, Yajie; KEDIR, Nebiyu S.; SERESHT, Nima G.; PEDRYCZ, Witold; FAYEK, Aminah R. Consensus Building in Group Decision-Making for the Risk Assessment of Wind Farm Projects. In: IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2019, New Orleans. **Anais [...]** New Orleans: IEEE, 2019.

HUSSIN, Mohamad S.; AL-MEHAIRI, Matar S.; AL-MADHANI, Hassan. DEWA distribution power asset management system in view of ISO 55000 Standard. In: Asset Management Conference, Londres. **Anais [...]** Londres: IEEE, 2016. p. 1–5.

ISA COLOMBIA, **Quienes somos**. Disponível em: <http://www.isaintercolombia.com/Paginas/2/nosotros>. Acesso em: 08 set. 2020.

JOHNSON, A.; STRACHAN, S.; AULT, G. A framework for asset replacement and investment planning in power distribution networks. In: IET & IAM Asset Management Conference, 2012, Londres. **Anais [...]** Londres: IEEE, 2012.

KHALIL, Mohamed. Qualitative and Quantitative FMECA on 220 kV Power Transformers. In: IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, 2018, Palermo. **Anais [...]** Palermo: IEEE, 2018.

LACERDA, Rogério Tadeu de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. A performance measurement view of IT project management. **International**

**Journal Of Productivity And Performance Management**, v. 60, n. 2, p.132-151, fev. 2011. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/174104011111101476>. Acesso em: 01 set. 2020.

LI, Le; HUANG, Wei; MA, Xue L.; GE, Jiang B.; YANG, Li J. Investment Decision-making of Power Distribution Transformers Transformation Based on Life Cycle Cost Theory. In: China International Conference on Electricity Distribution, 2010, Nanjing. **Anais [...]** Nanjing: IEEE, 2010.

LIMA, Eliana Sangreman; DE LORENA, Ana Luíza Freire; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Structuring the Asset Management based on ISO55001 and ISO31000: Where to start?. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2018, Miyazaki. **Anais [...]** Miyazaki: IEEE, 2018. p. 3094-3099.

LONGARAY, André Andrade *et al.* Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista para avaliação de desempenho do trade marketing: um caso ilustrado no setor farmacêutico. **Produção Online**, Florianópolis, v. 1, n. 16, p.49-76, jan/mar. 2016.

LUCIO, J. C. M.; NUNES, J. L. T.; TEIVE, R. C. G. Asset Management into Practice: a Case Study of a Brazilian Electrical Energy Utility. In: International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, 14, 2009, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: IEEE, 2009.

MAHERDIANTA, Deplian; RAMADHAN, Ericsson; EDWANTIAR, Ghafar A. Optimizing EAM & APM Supported by ISO 55001 Implementation. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2019, Orlando. **Anais [...]** Orlando: IEEE, 2019.

MAMEDE, João F. **Manual de equipamentos elétricos**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MAMEDE, João F.; MAMEDE, Daniel R. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MARQUES, Milton C. S.; HADDAD, Jamil; MARTINS, André R. S. **Conservação de energia**. Itajubá, 2006.

NOVAK, Camila. **Proposta de avaliação do desempenho de planta fotovoltaicas conectadas à rede elétrica em baixa tensão por um modelo multicriterial**. 98 f. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/tcc/>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

NOVICKÁ, A.; PAPCUN, P.; ZOLOTOVÁ, I. Mapping of machine faults using tools of World Class Manufacturing. In: International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, 14, 2016, Slovakia. **Anais [...]** Slovakia: IEEE, 2016. p. 223-227.

ONS. **Mapa do sistema de transmissão: Horizonte 2024.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 01 set. 2020.

PARISE, G.; LAMEDICA, R.; POMPILI, M.; PARISE, L. Electrical business continuity management: Towards a code. In: Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 53, 2017, Cataratas do Niágara. **Anais [...]** Cataratas do Niágara: IEEE, 2017.

PETCHROMPO, Sanyapong; PARLIKAD, Ajith Kumar. A review of asset management literature on multi-asset systems. **Reliability Engineering & System Safety**. [s.l.], ELSEVIER, v. 181, p. 181-201, jan. 2019.

RODA, Irene; GARETTI, Marco. The link between costs and performances for Total cost of Ownership evaluation of physical asset. In: International Conference on Engineering, Technology and Innovation, 2014, Bergamo. **Anais [...]** Bergamo: IEEE, 2014.

SAATY, T.L. **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.** McGraw-Hill, New York, 1980.

SILVERMAN, Mike; JOHNSON, James R. FMEA on FMEA. In: Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2013, Orlando. **Anais [...]** Orlando: IEEE, 2013.

SHAHIDEHPOUR, M.; FERRERO, R. Time management for assets: chronological strategies for power system asset management. **Power and Energy Magazine**. [s.l.], IEEE, vol.3, no.3, p. 32- 38, mai./jun. 2005.

SYED, Zaki; LAWRYSHYN, Yuri. Multi-criteria decision-making considering risk and uncertainty in physical asset management. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. [s.l.], ELSEVIER, v. 65, p. 1-16, mai. 2020.

TAMIMI, I; BEULLENS, P.; SADNICKI, S. Quantifying the benefits of investment portfolio optimization versus prioritisation for asset intensive organisations. In: Asset Management Conference, 2016, Londres. **Anais [...]** Londres: IEEE, 2016.

TOLMASQUIM, Mauricio T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ZAMPOLLI, Marisa. **Gestão de ativos - Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 55001: Considerando as diretrizes da ISO 55002:2018.** 2018. Disponível em: <http://www.abcobre.org.br/>. Acesso em: 05 mar. 2020.

ZAMPOLLI, Marisa; MARTINS, Fábio H. P.; TANAKA, Andre T. Gestão de Ativos na Distribuição: um desafio estratégico na AES Eletropaulo. In: Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 22, 2016, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: SENDI, 2016. p. 1-11.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – C1.1 – Potencial de consequência

Ponto de Vista:	Técnico																																																																																										
Variável:	Potencial consequência		Unidade:	Admissional																																																																																							
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																																																								
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>O critério tem o objetivo de estabelecer por meio de níveis de impacto a consequência atribuídas a falhas de equipamentos. Utiliza as recomendações do método Delphi.</p> <p align="center"><b>Figura 35 – Gráfico C1.1</b></p> <p align="center"><b>Figura 36 – Matriz de comparação C1.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Autovalor</th> <th colspan="7">Potencial consequência</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>N5</th> <th>N6</th> <th>N7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>9,62%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>0,7173</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>0,3333</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>0,4294</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>0,209</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td>0,1429</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>0,0918</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N6</td> <td>0,1111</td> <td>0,1111</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>0,0336</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N7</td> <td>0,1111</td> <td>0,1111</td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>				Autovalor	Potencial consequência							v(.)	cr	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N1	1	3	3	5	7	9	9	1	9,62%	N2	0,3333	1	3	5	7	9	9	0,7173		N3	0,3333	0,3333	1	3	5	7	9	0,4294		N4	0,2	0,2	0,3333	1	3	5	7	0,209		N5	0,1429	0,1429	0,2	0,3333	1	3	5	0,0918		N6	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,3333	1	3	0,0336		N7	0,1111	0,1111	0,1111	0,1429	0,2	0,3333	1	0	
Autovalor	Potencial consequência							v(.)	cr																																																																																		
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7																																																																																				
N1	1	3	3	5	7	9	9	1	9,62%																																																																																		
N2	0,3333	1	3	5	7	9	9	0,7173																																																																																			
N3	0,3333	0,3333	1	3	5	7	9	0,4294																																																																																			
N4	0,2	0,2	0,3333	1	3	5	7	0,209																																																																																			
N5	0,1429	0,1429	0,2	0,3333	1	3	5	0,0918																																																																																			
N6	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,3333	1	3	0,0336																																																																																			
N7	0,1111	0,1111	0,1111	0,1429	0,2	0,3333	1	0																																																																																			

APÊNDICE B – C1.2 – Taxa de falhas

Ponto de Vista:	Técnico		
Variável:	Taxa de falhas	Unidade:	%
Classificação:	Quantitativo	Contínuo	Construído
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>O critério tem como objetivo estabelecer o potencial de falha dos ativos através da pontuação do modo de falha, efeitos e probabilidades de falhas, com base no método FMECA.</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 37 – Gráfico C1.2</b></p> <div style="text-align: center;"> <p>C.1.2 - Taxa de Falha</p> </div> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> $C_{1.2} = \left( 1 - \left( \frac{\text{estabelecido} * 0,75}{\text{medido}} \right) \right) \times 100\% \rightarrow \text{medido} < 0,75 * \text{estabelecido} \rightarrow C_{1.2} = 0$		

APÊNDICE C – C1.3 – Nível de degradação

Ponto de Vista:	Técnico		
Variável:	Nível de degradação	Unidade:	%
Classificação:	Quantitativo	Contínuo	Construído
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Por meio da análise da cadeia de Markov, o critério tem objetivo de obter a probabilidade de um ativo alterar seu estado X para o estado Y.</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 38 – Gráfico C1.3</b></p> <div style="text-align: center;"> <p>C.1.3 - Nível de Degradação</p> </div> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> $C_{1.3} = (1 - (Prob_{1 \rightarrow 2} \times 0,1 + Prob_{2 \rightarrow 3} \times 0,2 + Prob_{3 \rightarrow 4} \times 0,3 + Prob_{4 \rightarrow 5} \times 0,4)) \times 100\%$		

APÊNDICE D – C1.4 – Análise de Condição

Ponto de Vista:	Técnico																																																																		
Variável:	Análise de Condição		Unidade:	Admissional																																																															
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																																
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>O critério prevê avaliar, de acordo com a análise de condição descrito no capítulo 4, item 4.3.1, incorporando dados e informações operacionais estabelecidos e medidos, a fim de indicar em qual estado o ativo se encontra.</p> <p align="center"><b>Figura 39 – Gráfico C1.4</b></p> <p align="center"><b>Figura 40 – Matriz de comparação C1.4</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="5">Análise de Condição</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>5,44503</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>N5</th> <th>v(.)</th> <th>cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>9,93%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td></td> <td>0,333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>0,5508</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td></td> <td>0,143</td> <td>0,200</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>0,1487</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td></td> <td>0,111</td> <td>0,143</td> <td>0,333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,0631</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td></td> <td>0,111</td> <td>0,111</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>						Análise de Condição							Autovalor	5,44503	N1	N2	N3	N4	N5	v(.)	cr	N1		1	3	7	9	9	1	9,93%	N2		0,333	1	5	7	9	0,5508		N3		0,143	0,200	1	3	5	0,1487		N4		0,111	0,143	0,333	1	5	0,0631		N5		0,111	0,111	0,200	0,200	1	0	
		Análise de Condição																																																																	
Autovalor	5,44503	N1	N2	N3	N4	N5	v(.)	cr																																																											
N1		1	3	7	9	9	1	9,93%																																																											
N2		0,333	1	5	7	9	0,5508																																																												
N3		0,143	0,200	1	3	5	0,1487																																																												
N4		0,111	0,143	0,333	1	5	0,0631																																																												
N5		0,111	0,111	0,200	0,200	1	0																																																												

## APÊNDICE E – C2.1 – Custo de operação e capital

Ponto de Vista:	Financeiro																																														
Variável:	Custo de operação e capital	Unidade:	Admissional																																												
Classificação:	Quantitativo	Discreto	Construído																																												
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>O critério objetiva definir se o ativo está despendendo um valor maior do que era estabelecido ou critérios de mercado.</p> <p><b>Figura 41 – Gráfico C2.1</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 42 – Matriz de comparação C2.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Custo de operação e capital</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>4,1654</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>v(.)</th> <th>cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>6,13%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>0,4591</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>0,0789</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>					Custo de operação e capital						Autovalor	4,1654	N1	N2	N3	N4	v(.)	cr	N1	1	3	7	9	1	6,13%	N2	0,3333	1	5	7	0,4591		N3	0,1429	0,2	1	3	0,0789		N4	0,1111	0,1429	0,3333	1	0	
		Custo de operação e capital																																													
Autovalor	4,1654	N1	N2	N3	N4	v(.)	cr																																								
N1	1	3	7	9	1	6,13%																																									
N2	0,3333	1	5	7	0,4591																																										
N3	0,1429	0,2	1	3	0,0789																																										
N4	0,1111	0,1429	0,3333	1	0																																										

## APÊNDICE F – C2.2 – Custo de substituição

Ponto de Vista:	Financeiro																																																					
Variável:	Custo de substituição		Unidade:	Admissional																																																		
Classificação:	Quantitativo	Discreto	Construído																																																			
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério tem o objetivo de estabelecer se vale a pena a substituição do ativo com base nos custos em valores monetários de OPEX e CAPEX anuais, anos restante de vida útil, possibilidade de falha, custo de investimento em um novo ativo e TCO do novo ativo e TCO do ativo.</p> <p><b>Figura 43 – Gráfico C2.2</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 44 – Matriz de comparação C2.2</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Autovalor</th> <th colspan="4">Custo de Substituição</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4,2523</td> <td>N1</td> <td>N2</td> <td>N3</td> <td>N4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>9,34%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>0,4641</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>N3</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,1088</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>N4</td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>				Autovalor	Custo de Substituição				v(.)	cr	N1	N2	N3	N4	4,2523	N1	N2	N3	N4				N1	1	3	7	9	1	9,34%		N2	0,3333	1	5	7	0,4641			N3	0,1429	0,2	1	5	0,1088			N4	0,1111	0,1429	0,2	1	0	
Autovalor	Custo de Substituição					v(.)	cr																																															
	N1	N2	N3	N4																																																		
4,2523	N1	N2	N3	N4																																																		
	N1	1	3	7	9	1	9,34%																																															
	N2	0,3333	1	5	7	0,4641																																																
	N3	0,1429	0,2	1	5	0,1088																																																
	N4	0,1111	0,1429	0,2	1	0																																																

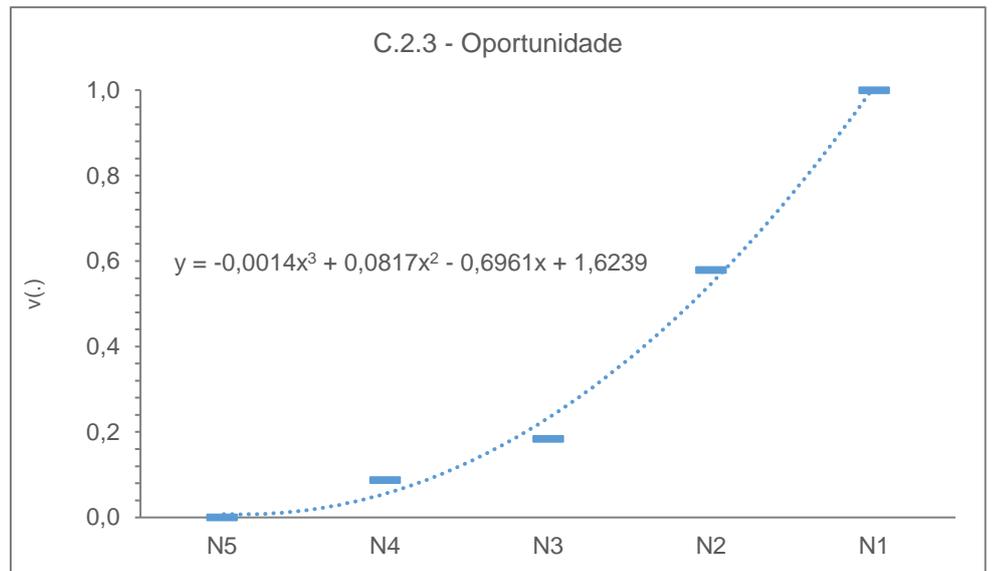
APÊNDICE G – C2.3 – Oportunidade

Ponto de Vista:	Financeiro		
Variável:	Oportunidade	Unidade:	Admissional
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído

Objetivo  
Escala e Matriz de comparações

Critério tem o objetivo de avaliar a capacidade do orçamento de realizar novos investimentos, em virtude do TCO do ativo existente em relação ao CTO do ativo a ser implementado. O objetivo é avaliar se há recurso disponível e vantagem econômica com a troca.

Figura 45 – Gráfico C2.3



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 46 – Matriz de comparação C2.3

		Oportunidade						
Autovalor	5,42905	N1	N2	N3	N4	N5	v(.)	cr
	N1	1	3	5	7	9	1	9,58%
	N2	0,33333	1	5	5	9	0,57913	
	N3	0,2	0,2	1	3	5	0,18416	
	N4	0,14286	0,2	0,33333	1	5	0,08763	
	N5	0,11111	0,11111	0,2	0,2	1	0	

Fonte: Elaboração própria (2020)

APÊNDICE H – C3.1.1 – Comprometimento da liderança

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Engajamento																																																															
Variável:	Comprometimento da liderança	Unidade:	Admissional																																																													
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																													
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério objetiva avaliar o nível de dedicação demonstrado por líderes ao repassar o conhecimento para a organização, em relação as políticas, objetivos e benefícios da gestão de ativos.</p> <p><b>Figura 47 – Gráfico C3.1.1</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 48 – Matriz de comparação C3.1.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Comprometimento da liderança</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>5,3534</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>N5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>7,89%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td></td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>0,5236</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td></td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>0,2233</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td></td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,1021</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td></td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>			Comprometimento da liderança							v(.)	cr	Autovalor	5,3534	N1	N2	N3	N4	N5	N1		1	3	5	5	9	1	7,89%	N2		0,3333	1	3	5	7	0,5236		N3		0,2	0,3333	1	3	5	0,2233		N4		0,2	0,2	0,3333	1	5	0,1021		N5		0,1111	0,1429	0,2	0,2	1	0	
Comprometimento da liderança							v(.)	cr																																																								
Autovalor	5,3534	N1	N2	N3	N4	N5																																																										
N1		1	3	5	5	9	1	7,89%																																																								
N2		0,3333	1	3	5	7	0,5236																																																									
N3		0,2	0,3333	1	3	5	0,2233																																																									
N4		0,2	0,2	0,3333	1	5	0,1021																																																									
N5		0,1111	0,1429	0,2	0,2	1	0																																																									

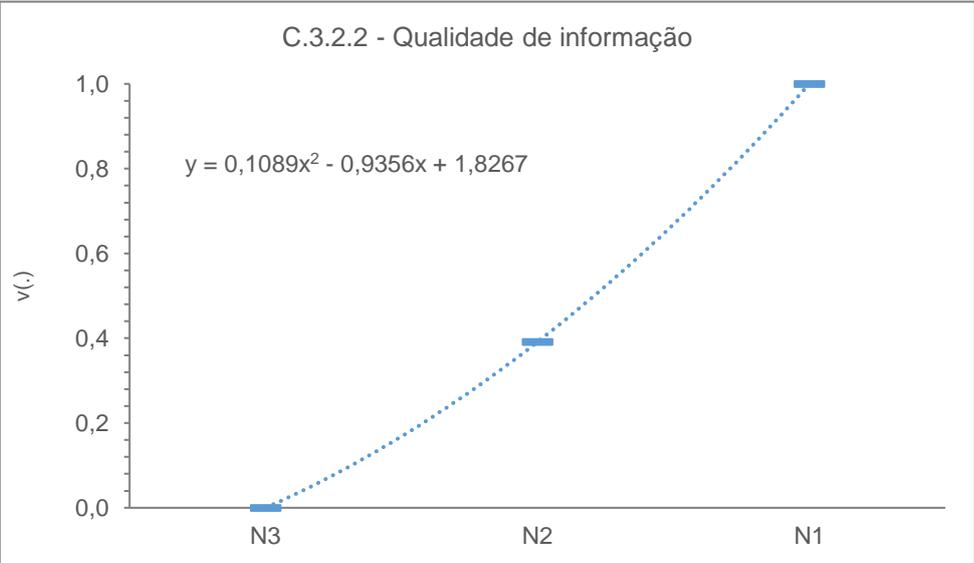
APÊNDICE I – C3.1.2 – Engajamento da equipe

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Engajamento																																																		
Variável:	Engajamento da equipe		Unidade: Admissional																																																
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério com o intuito de analisar o entendimento dos colaboradores, bem como a capacidade de assimilar e desenvolver as tarefas de gestão de ativos.</p> <p><b>Figura 49 – Gráfico C3.1.2</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 50 – Matriz de comparação C3.1.2</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">Engajamento da equipe</th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>4,1996</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>v(.)</th> <th>cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>7,39%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td></td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>0,5029</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td></td> <td>0,3333</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,2266</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td></td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>			Engajamento da equipe								Autovalor	4,1996	N1	N2	N3	N4	v(.)	cr	N1		1	3	3	9	1	7,39%	N2		0,3333	1	3	7	0,5029		N3		0,3333	0,3333	1	5	0,2266		N4		0,1111	0,1429	0,2	1	0	
Engajamento da equipe																																																			
Autovalor	4,1996	N1	N2	N3	N4	v(.)	cr																																												
N1		1	3	3	9	1	7,39%																																												
N2		0,3333	1	3	7	0,5029																																													
N3		0,3333	0,3333	1	5	0,2266																																													
N4		0,1111	0,1429	0,2	1	0																																													

APÊNDICE J – C3.2.1 – Nível de informação

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Requisitos de informação																																																										
Variável:	Nível de informação		Unidade: Admissional																																																								
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																								
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério com o intuito de assegurar que as informações sejam consistentes, rastreáveis e permitam fácil acesso de quem possa interessar.</p> <p><b>Figura 51 – Gráfico C3.2.1</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 52 – Matriz de comparação C3.2.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="5">Nível de informação</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>5,44018</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>N5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>9</td> <td rowspan="5">0,53938</td> <td rowspan="5">9,83%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td>0,33333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>0,14286</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>0,14286</td> <td>0,2</td> <td>0,33333</td> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td>0,11111</td> <td>0,11111</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>					Nível de informação					v(.)	cr	Autovalor	5,44018	N1	N2	N3	N4	N5	N1	1	3	7	7	9	0,53938	9,83%	N2	0,33333	1	5	5	9	N3	0,14286	0,2	1	3	5	N4	0,14286	0,2	0,33333	1	5	N5	0,11111	0,11111	0,2	0,2	1							0	
		Nível de informação					v(.)	cr																																																			
Autovalor	5,44018	N1	N2	N3	N4	N5																																																					
N1	1	3	7	7	9	0,53938	9,83%																																																				
N2	0,33333	1	5	5	9																																																						
N3	0,14286	0,2	1	3	5																																																						
N4	0,14286	0,2	0,33333	1	5																																																						
N5	0,11111	0,11111	0,2	0,2	1																																																						
						0																																																					

APÊNDICE K – C3.2.2 – Qualidade de informação

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Requisitos de informação																													
Variável:	Qualidade de informação		Unidade: Admissional																											
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																											
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério com o intuito de avaliar a qualidade de informação, tempo de registro e sua relevância (revisão), tempo gasto para encontrar um documento, analisa a qualidade dos documentos encontrados, dados históricos, relevância das informações.</p> <p><b>Figura 53 – Gráfico C3.2.2</b></p>  <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 54 – Matriz de comparação C3.2.2</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Autovalor</th> <th colspan="3">Qualidade de informação</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>6,92%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>0,3911</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>			Autovalor	Qualidade de informação			v(.)	cr	N1	N2	N3	N1	1	3	9	1	6,92%	N2	0,3333	1	7	0,3911		N3	0,1111	0,1429	1	0	
Autovalor	Qualidade de informação				v(.)	cr																								
	N1	N2	N3																											
N1	1	3	9	1	6,92%																									
N2	0,3333	1	7	0,3911																										
N3	0,1111	0,1429	1	0																										

APÊNDICE L – C3.3.1 – Competência técnica

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Apoio																																													
Variável:	Competência técnica		Unidade:	Admissional																																										
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																											
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério com o intuito mensurar a qualidade da competência do corpo técnico, da gestão de sobressalentes, dos recursos disponível, e da mão de obra terceirizada.</p> <p><b>Figura 55 – Gráfico C3.3.1</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 56 – Matriz de comparação C3.3.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Competência técnica</th> <th rowspan="2">v(.)</th> <th rowspan="2">cr</th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>4,1878</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>6,96%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>0,4737</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>0,2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,1685</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>0,1111</td> <td>0,1111</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>						Competência técnica				v(.)	cr	Autovalor	4,1878	N1	N2	N3	N4	N1	1	3	5	9	1	6,96%	N2	0,3333	1	3	9	0,4737		N3	0,2	0,3333	1	5	0,1685		N4	0,1111	0,1111	0,2	1	0	
		Competência técnica				v(.)	cr																																							
Autovalor	4,1878	N1	N2	N3	N4																																									
N1	1	3	5	9	1	6,96%																																								
N2	0,3333	1	3	9	0,4737																																									
N3	0,2	0,3333	1	5	0,1685																																									
N4	0,1111	0,1111	0,2	1	0																																									

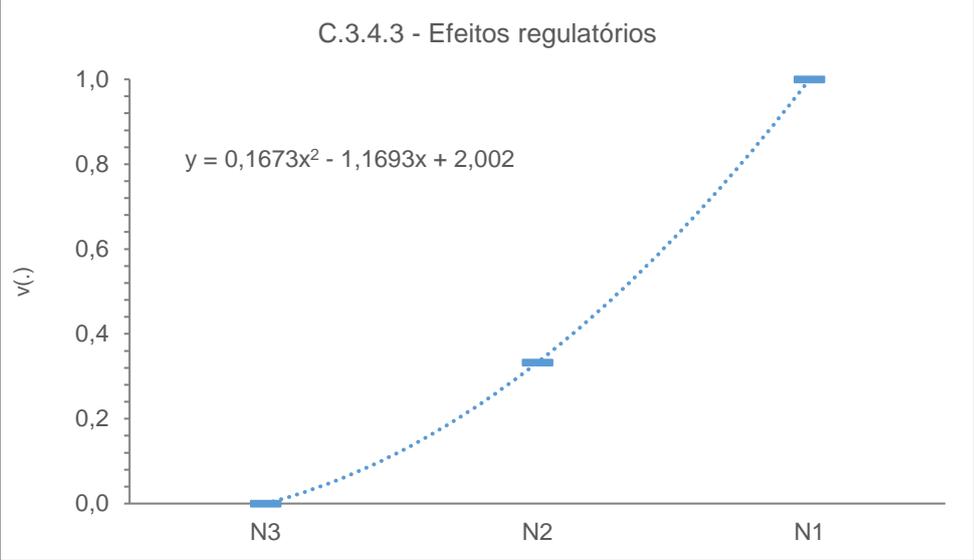
APÊNDICE M – C3.3.2 – Nível de integração

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Apoio																																																		
Variável:	Nível de integração		Unidade: Admissional																																																
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério tem o objetivo de estabelecer níveis para analisar o fluxo de definição das áreas responsáveis e interfaces, tempo de atuação nas demandas, o relacionamento entre áreas, tempo de efetivação de processos e disponibilização de informação.</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 57 – Gráfico C3.3.2</b></p> <div style="text-align: center;"> <p>C.3.3.2 - Nível de integração</p> <math display="block">y = 0,1155x^2 - 0,9155x + 1,807</math> </div> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 58 – Matriz de comparação C3.3.2</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Nível de integração</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th style="background-color: #f4b084;">Autovalor</th> <th></th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th style="background-color: #f4b084;">v(.)</th> <th style="background-color: #f4b084;">cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <th>N1</th> <td style="background-color: #d3d3d3;">1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>6,13%</td> </tr> <tr> <td></td> <th>N2</th> <td>0,3333</td> <td style="background-color: #d3d3d3;">1</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>0,4591</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <th>N3</th> <td>0,1429</td> <td>0,2</td> <td style="background-color: #d3d3d3;">1</td> <td>3</td> <td>0,0789</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <th>N4</th> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,3333</td> <td style="background-color: #d3d3d3;">1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>					Nível de integração						Autovalor		N1	N2	N3	N4	v(.)	cr		N1	1	3	7	9	1	6,13%		N2	0,3333	1	5	7	0,4591			N3	0,1429	0,2	1	3	0,0789			N4	0,1111	0,1429	0,3333	1	0	
		Nível de integração																																																	
Autovalor		N1	N2	N3	N4	v(.)	cr																																												
	N1	1	3	7	9	1	6,13%																																												
	N2	0,3333	1	5	7	0,4591																																													
	N3	0,1429	0,2	1	3	0,0789																																													
	N4	0,1111	0,1429	0,3333	1	0																																													

APÊNDICE N – C3.4.1 – Efeitos socioambientais

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Externo																																																																	
Variável:	Efeitos socioambientais		Unidade: Admissional																																																															
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																																															
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério tem o objetivo quantificar e comparar a probabilidade e as consequências de efeitos socioambientais.</p> <p><b>Figura 59 – Gráfico C3.4.1</b></p> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 60 – Matriz de comparação C3.4.1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="5">Efeitos socioambientais</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>5,4338</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>N4</th> <th>N5</th> <th>v(.)</th> <th>cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N1</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>9,68%</td> </tr> <tr> <td>N2</td> <td></td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>0,466</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td></td> <td>0,1111</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>0,1637</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td></td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>0,0476</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td></td> <td>0,1111</td> <td>0,1111</td> <td>0,1429</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>					Efeitos socioambientais							Autovalor	5,4338	N1	N2	N3	N4	N5	v(.)	cr	N1		1	3	9	9	9	1	9,68%	N2		0,3333	1	3	7	9	0,466		N3		0,1111	0,3333	1	3	7	0,1637		N4		0,1111	0,1429	0,3333	1	3	0,0476		N5		0,1111	0,1111	0,1429	0,3333	1	0	
		Efeitos socioambientais																																																																
Autovalor	5,4338	N1	N2	N3	N4	N5	v(.)	cr																																																										
N1		1	3	9	9	9	1	9,68%																																																										
N2		0,3333	1	3	7	9	0,466																																																											
N3		0,1111	0,3333	1	3	7	0,1637																																																											
N4		0,1111	0,1429	0,3333	1	3	0,0476																																																											
N5		0,1111	0,1111	0,1429	0,3333	1	0																																																											

APÊNDICE O – C3.4.2 – Efeitos regulatórios

Ponto de Vista:	Política de gestão de ativo / Externo																																					
Variável:	Efeitos regulatórios		Unidade: Admissional																																			
Classificação:	Qualitativo	Discreto	Construído																																			
Objetivo Escala e Matriz de comparações	<p>Critério tem o objetivo quantificar e comparar a probabilidade e as consequências de falhas interferirem no cumprimento de regulamentações e requisitos legais.</p> <p><b>Figura 61 – Gráfico C3.4.2</b></p>  <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p> <p><b>Figura 62 – Matriz de comparação C3.4.2</b></p> <table border="1" data-bbox="647 1294 1401 1491"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Efeitos regulatórios</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>Autovalor</th> <th>3,0291</th> <th>N1</th> <th>N2</th> <th>N3</th> <th>v(.)</th> <th>cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>N1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>2,51%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N2</td> <td>0,3333</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0,3327</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>N3</td> <td>0,1111</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Elaboração própria (2020)</p>					Efeitos regulatórios					Autovalor	3,0291	N1	N2	N3	v(.)	cr		N1	1	3	9	1	2,51%		N2	0,3333	1	5	0,3327			N3	0,1111	0,2	1	0	
		Efeitos regulatórios																																				
Autovalor	3,0291	N1	N2	N3	v(.)	cr																																
	N1	1	3	9	1	2,51%																																
	N2	0,3333	1	5	0,3327																																	
	N3	0,1111	0,2	1	0																																	

**ANEXOS**

## ANEXO A – TABELA COM METÓDOS PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS

No Anexo A é apresentada uma tabela com os tipos e aplicabilidade de ferramentas para o processo de avaliação de risco. A primeira coluna define se o método é recomendado para identificação de risco, a coluna seguinte avalia se o método faz uma análise de consequência. A terceira se o método pode ser aplicado para encontrar os valores de probabilidade. A quarta se o método estima o nível do risco e a última coluna responde se método é aplicável para a avaliação do risco (ABNT, 2012).

Ferramentas e técnicas	Processo de avaliação de riscos				
	Identificação de riscos	Consequência	Probabilidade	Nível de risco	Avaliação de riscos
Brainstorming	FA	NA	NA	NA	NA
Entrevistas estruturadas ou semi-estruturadas	FA	NA	NA	NA	NA
Delphi	FA	NA	NA	NA	NA
Lista de verificação	FA	NA	NA	NA	NA
Análise preliminar de perigos (APP)	FA	NA	NA	NA	NA
Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP)	FA	FA	A	A	A
Análise de perigos e pontos críticos (APPCC)	FA	FA	NA	NA	FA
Avaliação de risco ambiental	FA	FA	FA	FA	FA
Técnica estruturada "E se" (SWIFT)	FA	FA	FA	FA	FA
Análise de cenários	FA	FA	A	A	A
Análise de impactos no negócio	A	FA	A	A	A
Análise de causa-raiz	NA	FA	FA	FA	FA
Análise de modos de falha e efeito	FA	FA	FA	FA	FA
Análise de árvore de falhas	A	NA	FA	A	A
Análise de árvore de eventos	A	FA	A	A	NA
Análise de causa e consequência	A	FA	FA	A	A
Análise de causa e efeito	FA	FA	NA	NA	NA
Análise de camadas de proteção (LOPA)	A	FA	A	A	NA
Árvore de decisões	NA	FA	FA	A	A
Análise de confiabilidade humana	FA	FA	FA	FA	A
Análise Bow tie	NA	A	FA	FA	A

Manutenção centrada em confiabilidade	FA	FA	FA	FA	FA
Sneak analysis (SA) e sneak circuit analysis (SCA)	A	NA	NA	NA	NA
Análise de Markov	A	FA	NA	NA	NA
Simulação de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	NA
Estatística Bayesiana e Redes de Bayes	NA	FA	NA	NA	FA
Curvas FN	A	FA	FA	A	FA
Índices de risco	A	FA	FA	A	FA
Matriz de probabilidade/consequência	FA	FA	FA	FA	A
Análise de custo/benefício	A	FA	A	A	A
Análise de decisão por multicritérios (MCDA)	A	FA	A	FA	A

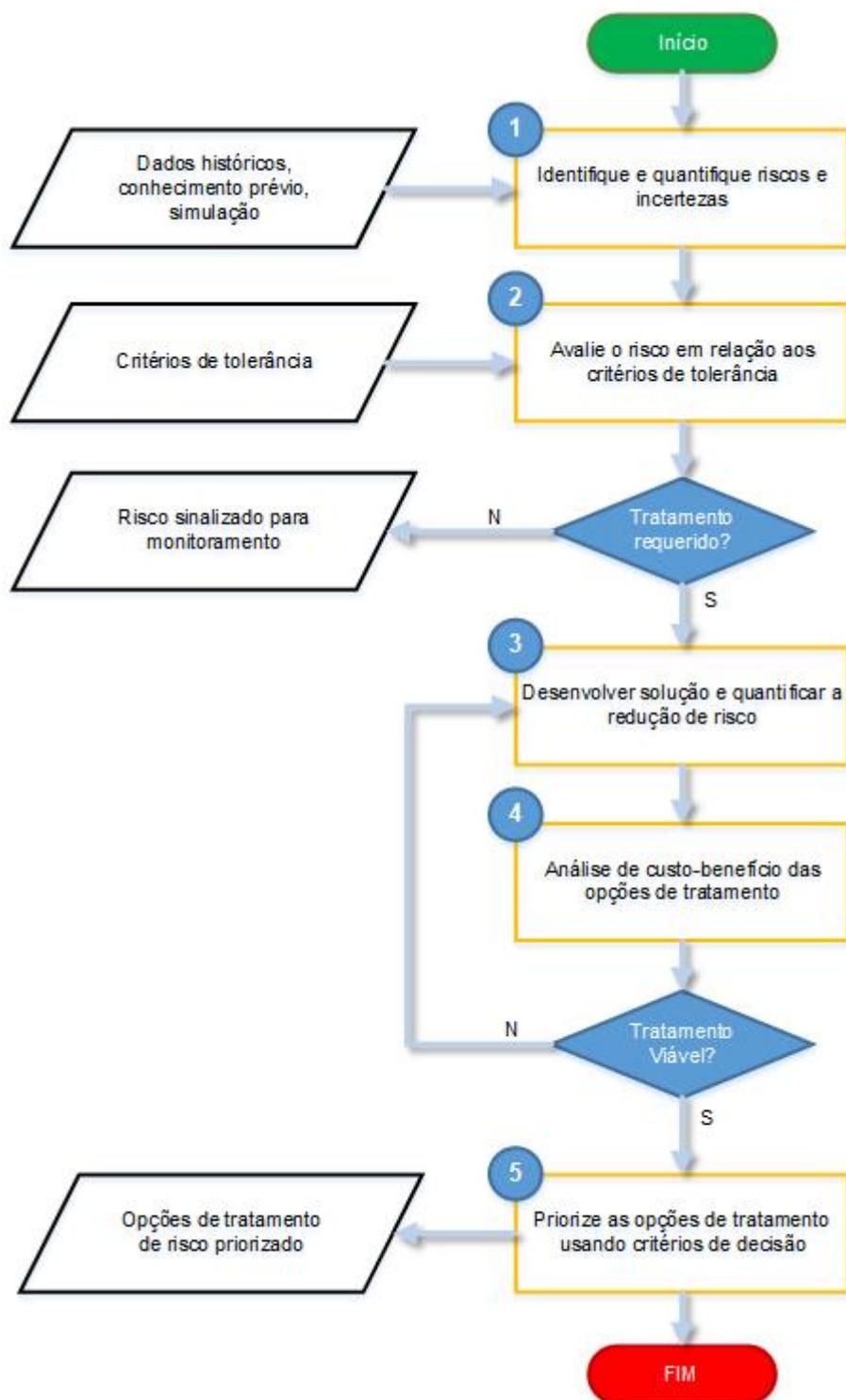
FA - Fortemente aplicável

NA - Não aplicável

A - Aplicável

Fonte: ABNT (2012)

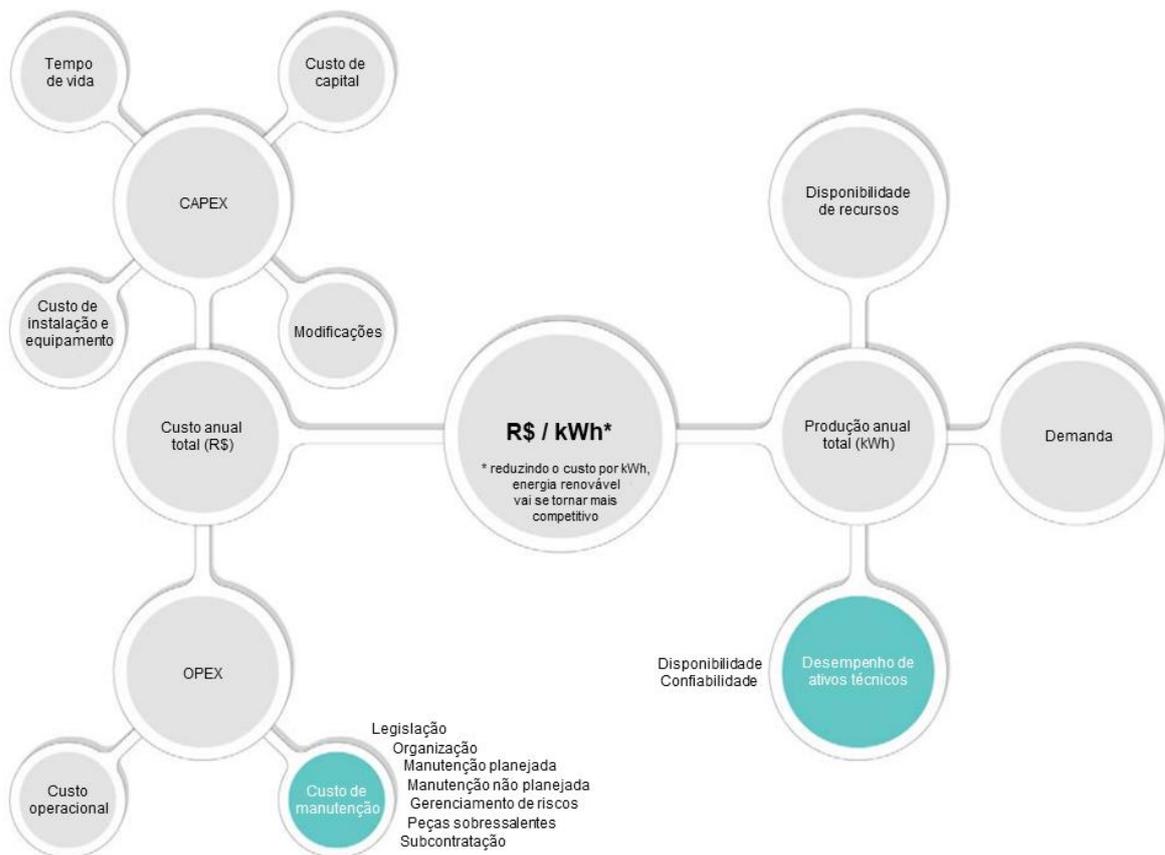
## ANEXO B – FLUXO PARA TOMADA DE DECISÃO BASEADO NO DESEMPENHO DO ATIVO



Fonte: Adaptado de Syed e Lawryshyn (2020).

## ANEXO C – MODELO PARA INDICAR OS DIFERENTES PARAMÊTROS QUE IMPACTAM O CUSTO DO E/kWh.

É possível verificar que a produção de energia é uma variável dependente da demanda, um critério externo a organização e de variáveis organizadas e controladas na organização, como: desempenho técnico e disponibilidade. A disponibilidade tem ligação com o baixo nível de paradas técnicas ao longo do ciclo de vida do ativo. O desempenho técnico é a relação de eficiência na conversão da fonte primária de energia em energia elétrica. Já do lado oposto, é observado os custos de CAPEX e OPEX (ALMA; KOENEN, 2016)



Fonte: Alma e Koenen (2016).