

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**



## **A Importância da Gestão de Ativos para a Competitividade das Empresas de Distribuição de Energia Elétrica**

**ANDRÉ VICENTE DE MORAES MENDES**  
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia de Manutenção

Orientador:

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**A Importância da Gestão de Ativos para a  
Competitividade das Empresas de Distribuição de  
Energia Elétrica**

**ANDRÉ VICENTE DE MORAES MENDES**  
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia de Manutenção

Orientador:

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

**Setembro de 2021**

## **Resumo**

A gestão de ativos físicos é um processo que envolve o equilíbrio entre diversas variáveis, como custos, desempenho, ameaças e oportunidades. A família de normas ISO 5500x é o primeiro conjunto de normas internacionais que estabelece os requisitos que suportam a implementação das melhores práticas de gestão otimizada de ativos, com base nos pilares fundamentais de maximização de valor, alinhamento de atividades, implementação de liderança e procura pela garantia de funcionamento.

Um dos alvos da gestão de ativos físicos são as organizações que gerem sistemas complexos.

Um desses tais sistemas é uma rede pública de distribuição de energia elétrica. Diferentes tecnologias, diferentes necessidades de manutenção, distribuição geográfica extensa, equipamentos de longa vida útil, risco para a segurança de pessoas e bens, são algumas das características gerais dos ativos físicos destes complexos sistemas. Adicionalmente, a necessidade permanente de fornecimento de energia elétrica numa cadeia que por norma envolve diversos intervenientes e os impactos social e ambiental das redes aumentam a visibilidade e as exigências de desempenho das organizações responsáveis pela gestão destas redes. Por estes motivos, estas organizações necessitam de abordagens estruturadas para garantir a sua sustentabilidade.

É aqui estudada a aplicação da metodologia de Gestão de Ativos, conforme definida nas ISO 5500x, primeiro a nível isolado e depois aplicada à gestão das redes de distribuição, de modo a determinar a sua utilidade para as atividades desse setor.

Palavras-chave: gestão de ativos, ISO 55001, redes de distribuição de energia

## **Abstract**

Physical asset management is a process which involves the balance between several variables, such as costs, performance, threats, and opportunities. The ISO 5500x standard family is the first set of international standards which provides the requirements that support the implementation of the best practices regarding optimized asset management, based on the fundamental pillars of value maximization, activity alignment, leadership implementation, and pursuit for guarantee of service.

One of the targets of physical asset management are the organizations managing complex systems.

One such system is a public electric power distribution grid. Different technologies, different maintenance needs, wide geographical distribution, long lifespan, and a risk to people and goods are some of the general features of the physical assets of these systems. Furthermore, the need for continuous electric power supply in a chain that revolves around several players and the social and environmental impacts of these grids raises the visibility and the performance needs for the organizations in charge of managing these grids. For these reasons, these organizations require structured approaches to guarantee their sustainability.

It is studied herein the application of the methodology of Asset Management, according to the ISO 5500x standards, first on a general level and afterwards applied to the management of distribution grids, in order to determine its usefulness for the activities of that sector.

**Keywords:** asset management, ISO 55001, electric distribution networks

## Lista de Siglas

AHP – *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico de Hierarquia)

ASTM – *ASTM International*, previamente *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Ensaios e Materiais)

AT – Alta tensão

BSC – *Balanced Scorecard* (Indicadores Balanceados de Desempenho)

BSI – *The British Standards Institution* (Instituto de Normalização Britânico)

BT – Baixa tensão

CBM – *Condition Based Maintenance* (Manutenção Baseada na Condição)

CEN – *Comité Européen de Normalisation* (Comité Europeu de Normalização)

CIGRE – *Conseil International des Grands Réseaux Électriques* (Conselho Internacional de Grandes Sistemas Elétricos)

EN – *European Standard* (Norma Europeia)

END – Energia Não Distribuída

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis* (Análise de Modos e Efeitos de Falha)

FMECA – *Failure Modes Effects and Criticality Analysis* (Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha)

IAM – *Institute of Asset Management* (Instituto de Gestão de Ativos)

IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros de Eletricidade e Eletrónica)

IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

ISO 5500x – referência ao conjunto de normas composto por ISO 55000 (2014), ISO 55001 (2014) e ISO 55002 (2018)

KPI – *Key Performance Indicator* (Indicador de Desempenho Chave)

LCC – *Life Cycle Costing* (Cálculo de Custos de Ciclo de Vida)

LTE – *Long Term Evolution* (Evolução a Longo Prazo)

MAIFI – *Momentary Average Interruption Frequency Index* (Índice de Frequência Média das Interrupções Breves)

MAT – Muito alta tensão

MPQS – Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço

MT – Média tensão

NP – Norma Portuguesa

NP-EN – Versão Portuguesa de uma Norma Europeia

NP ISO – Versão Portuguesa de uma Norma Internacional

OEE – *Overall Equipment Effectiveness* (Eficácia Geral do Equipamento)

ORDEE – Operador de Rede de Distribuição de Energia Elétrica

PAS – *Publicly Available Specification* (Especificação Disponibilizada ao Público)

PAS 55 – referência ao conjunto de documentos normativos composto pela PAS 55-1 (2008) e à PAS 55-2 (2008)

PDCA – *Plan-Do-Check-Act* (Planear-Executar-Verificar-Atuar)

PEsGA – Plano Estratégico de Gestão de Ativos

PRC – Período de Retorno do Capital

RARI – Regulamento de Acesso às Redes e às Interligações

RBM – *Risk Based Maintenance* (Manutenção Baseada no Risco)

RCM – *Reliability Centred Maintenance* (Manutenção Centrada na Fiabilidade)

RND – Rede Nacional de Distribuição (compreende as redes em MT e AT em Portugal)

RQS – Regulamento da Qualidade de Serviço

RRD – Regulamento da Rede de Distribuição

RT – Regulamento Tarifário

SAIDI – *System Average Interruption Duration Index* (Índice de Duração Média das Interrupções do Sistema)

SAIFI – *System Average Interruption Frequency Index* (Índice de Frequência Média das Interrupções do Sistema)

SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition* (Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados)

SF<sub>6</sub> – hexafluoreto de enxofre

SGA – Sistema de Gestão de Ativos

TIEPI – Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

TPM – *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total)

VAL – Valor Atual Líquido

# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ii</b>
<b>Lista de Siglas .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Motivação Pessoal .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Metodologia .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Introdução à Gestão de Ativos .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Termos fundamentais .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. Organização e Objetivos organizacionais.....	5
2.1.2. Parte interessada .....	5
2.1.3. Ativo e Valor .....	6
2.1.4. Ciclo de vida de um ativo físico .....	7
<b>2.2. O que caracteriza a Gestão de Ativos.....</b>	<b>7</b>
2.2.1. A génese da Gestão de Ativos .....	8
2.2.2. Definição de Gestão de Ativos .....	10
2.2.3. O papel da Gestão de Ativos na organização .....	11
2.2.4. Sistema de Gestão de Ativos (SGA).....	12
<b>2.3. A Normalização da Gestão de Ativos .....</b>	<b>13</b>
2.3.1. Análise das normas ISO.....	13
2.3.2. ISO 55000, 55001 e 55002 – 2014 e 2018 .....	15
<b>3. A Gestão de Ativos do ponto de vista prático .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Abordagem geral de implementação de um SGA segundo as ISO 5500x.....</b>	<b>18</b>
3.1.1. Avaliação inicial .....	19
3.1.2. Hierarquia do SGA .....	20
<b>3.2. Elementos do SGA.....</b>	<b>21</b>
3.2.1. Contexto da organização e Partes interessadas.....	21

3.2.2. Política de Gestão de Ativos.....	22
3.2.3. Plano Estratégico de Gestão de Ativos (PEsGA) .....	23
3.2.3.1. Sistematização de tomada de decisões de gestão de ativos.....	24
3.2.3.2. Objetivos da gestão de ativos.....	29
3.2.3.3. Planos contido no PEsGA.....	29
3.2.3.4. Âmbito do SGA .....	30
3.2.4. Planos de gestão de ativos .....	31
3.2.5. Elementos e Atividades de Apoio do SGA.....	33
3.2.5.1. Cultura empresarial.....	33
3.2.5.2. Interação com partes interessadas externas.....	34
3.2.5.3. Recursos.....	35
3.2.5.4. Informação e Documentação .....	35
3.2.6. Operacionalização do SGA.....	37
3.2.7. Avaliação de desempenho .....	38
3.2.8. Melhoria contínua.....	39
<b>3.3. Análise de alternativas de Gestão de Ativos físicos.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4. Exemplos de implementação das ISO 5500x.....</b>	<b>45</b>
<b>4. Redes de Distribuição de Energia Elétrica.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1. Enquadramento da rede de distribuição no fornecimento de energia elétrica.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2. Necessidades e expectativas das Partes Interessadas .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3. Regulação aplicável – Caso Portugal.....</b>	<b>55</b>
4.3.1. Valores de base por detrás da Regulação.....	55
4.3.2. Regulamentos específicos.....	57
<b>4.4. Os ativos das Redes de Distribuição .....</b>	<b>59</b>
4.4.1. Postos elétricos .....	61
4.4.1.1. Diferentes conceções de postos.....	61
4.4.1.2. Transformador de Potência .....	65
4.4.1.3. Equipamentos de proteção .....	68
4.4.1.4. Equipamento de manobra .....	71
4.4.1.5. Transformadores de intensidade e de tensão.....	71
4.4.1.6. Equipamentos de compensação de energia reativa .....	72
4.4.2. Linhas .....	72
4.4.2.1. Aéreas vs. subterrâneas.....	73
4.4.2.2. Condutores .....	74
4.4.2.3. Apoios (Postes) de linhas aéreas.....	76
4.4.2.4. Acessórios.....	76

4.4.3. Ativos de suporte .....	77
4.4.4. Configuração da rede .....	78
<b>4.5. Desempenho das Redes de Distribuição – Avaliação e Melhoramento .....</b>	<b>79</b>
4.5.1. Indicadores de desempenho de continuidade de serviço .....	80
4.5.2. Principais causas de interrupção de serviço e sua mitigação .....	82
4.5.3. Qualidade da energia elétrica.....	86
4.5.4. Outras medidas de desempenho usadas .....	88
<b>4.6. As Atividades de Gestão das Redes de Distribuição .....</b>	<b>89</b>
4.6.1. Planeamento da rede (investimentos de capital).....	89
4.6.2. Conceção, construção/implementação e comissionamento .....	90
4.6.3. Operação e Controlo da rede .....	92
4.6.4. Inspeção, Manutenção e Substituição .....	93
4.6.5. Priorização de atividades .....	94
4.6.5.1. Avaliação de condição .....	94
4.6.5.2. Análise de risco.....	95
4.6.5.3. Estado da técnica.....	97
<b>4.7. Ferramentas de gestão de ativos utilizadas.....</b>	<b>98</b>
<b>4.8. Futuro – Principais desafios para as redes de distribuição .....</b>	<b>99</b>
<b>4.9. Análise da necessidade das ISO 5500x .....</b>	<b>100</b>
<b>5. Conceção de Sistema de Tomada de Decisões para Gestão de Ativos de Redes de Distribuição .....</b>	<b>103</b>
<b>5.1. Política de Gestão de Ativos .....</b>	<b>105</b>
<b>5.2. Enquadramento teórico do sistema .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3. Definição do peso dos critérios através do AHP .....</b>	<b>108</b>
5.3.1. Obtenção dos pesos relativos.....	108
5.3.2. Análise de consistência.....	111
<b>5.4. Adaptações ao AHP.....</b>	<b>113</b>
5.4.1. Combinação de múltiplas opiniões.....	113
5.4.2. Utilização de escalões para avaliação de alternativas.....	114
5.4.3. Decomposição dos critérios .....	115
<b>5.5. Gestão do desenvolvimento da rede.....</b>	<b>115</b>
5.5.1. Aplicação do AHP tradicional para escolha de alternativas .....	116
5.5.2. Seleção de Subcritérios.....	119
<b>5.6. Gestão da Manutenção e Atividades opcionais.....</b>	<b>120</b>
5.6.1. Definição de ativos críticos .....	122
5.6.2. Definição e Quantificação de subcritérios .....	123

5.6.3. Apresentação e monitorização de riscos .....	125
5.6.4. Tratamento de riscos.....	127
<b>5.7. Avaliação de desempenho e melhoria contínua .....</b>	<b>128</b>
<b>5.8. Ferramenta desenvolvida .....</b>	<b>129</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>130</b>
6.1. Lacunas da Dissertação .....	131
<b>7. Bibliografia.....</b>	<b>133</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>i</b>
<b>Anexo I – Documentos normativos adicionais a respeito da Gestão de Ativos.....</b>	<b>ii</b>
<b>Anexo II – Questionário para determinação dos pesos relativos dos critérios relevantes para as redes de distribuição.....</b>	<b>x</b>
<b>Anexo III – Questionário para determinação de preferências locais em problema de conceção de linha .....</b>	<b>xii</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Otimização do valor obtido de um ativo através do equilíbrio entre custo, risco e desempenho.....	11
<b>Figura 2.2.</b> Representação das cláusulas da ISO 55001 segundo o modelo PDCA (Adaptado (IAM, 2015) com alteração da organização das cláusulas). .....	16
<b>Figura 3.1.</b> Exemplos de implementação da gestão de ativos a várias unidades de negócio de uma organização (Retirado e traduzido da ISO 55002 (2018)). .....	20
<b>Figura 3.2.</b> Relação entre os elementos-chave de um sistema de gestão de ativos e as cláusulas respetivas da ISO 55001 (2014). As setas representam direções de influência. A cinzento encontra-se o âmbito das atividades do SGA (Retirado da NP ISO 55002 (2016)). .....	21
<b>Figura 3.3.</b> Enquadramento do sistema de tomada de decisões na tradução de valor, com referência às cláusulas respetivas da ISO 55001 (2014) e da ISO 55000 (2014) (Traduzido e adaptado da ISO 55002 (2018)). .....	26
<b>Figura 3.4.</b> Perspetivas do BSC (Traduzido (Niven, 2014)). .....	41
<b>Figura 3.5.</b> Exemplo de enquadramento da gestão de ativos com as suas alternativas no plano organizacional.....	42
<b>Figura 4.1.</b> Infraestrutura pública clássica simplificada de fornecimento de energia elétrica (Traduzido e adaptado (Short, 2014)). .....	49
<b>Figura 4.2.</b> Relações comerciais dos operadores de redes de distribuição em Portugal (Retirado de ERSE (2018)). .....	52
<b>Figura 4.3.</b> Redução de espaço na substituição de uma subestação isolada a ar por uma subestação equivalente a gás (Retirado de CIGRE Study Committee B3 (2019)). .....	62
<b>Figura 4.4.</b> Configurações típicas de subestação (Traduzido (Brown, 2009)). .....	64
<b>Figura 4.5.</b> Subestação isolada a ar na sua forma mais simples (Traduzido (Brown, 2009)). .....	65
<b>Figura 4.6.</b> Crescimento de árvores aquosas em isolamento polimérico de cabo (Tjernberg, 2018). .....	75

<b>Figura 4.7.</b> Configurações de maior fiabilidade – alimentação seletiva (Traduzido (Short, 2014)).	79
<b>Figura 4.8.</b> Exemplo de faixa de serviço de linha aérea (Traduzido (Márquez <i>et al</i> , 2020b)).	83
<b>Figura 4.9.</b> Exemplos de acessórios para evitar falhas causadas por animais, à esquerda num transformador (Brown, 2009) e à direita numa linha aérea (E-Redes, 2016).	85
<b>Figura 4.10.</b> Fenómenos de desvio de qualidade da tensão (Adaptado (Brown, 2009)).	88
<b>Figura 4.11.</b> Diagrama de importância vs. risco técnico (Traduzido (Tjernberg, 2018)).	96
<b>Figura 5.1.</b> Processo de formulação de sistema de tomada de decisões (Adaptado (Hofmann <i>et al</i> , 2012)).	104
<b>Figura 5.2.</b> Sugestão de Política de gestão de ativos de um ORDEE.	105
<b>Figura 5.3.</b> Abordagem selecionada para alinhamento de tomada de decisões das diferentes categorias.	107
<b>Figura 5.4.</b> Recolha de preferências de critérios de partes interessadas.	110
<b>Figura 5.5.</b> Normalização da matriz de comparações.	111
<b>Figura 5.6.</b> Soma ponderada das colunas para determinação de consistência.	112
<b>Figura 5.7.</b> Fluxograma – Abordagem de tomada de decisões de desenvolvimento da rede.	116
<b>Figura 5.8.</b> Recolha de preferências de partes interessadas – preferências locais.	117
<b>Figura 5.9.</b> Resultados – preferências locais.	118
<b>Figura 5.10.</b> Vulnerabilidade de um sistema (Traduzido (Hofmann <i>et al</i> , 2012)).	121
<b>Figura 5.11.</b> Apresentação de riscos segundo classificação unidimensional.	125
<b>Figura 5.12.</b> Exemplo de matriz de risco.	126
<b>Figura 5.13.</b> Apresentação de risco para ativos lineares (Adaptado (Hofmann <i>et al</i> , 2013) para também incluir vãos entre postes).	127

**Figura I.1.** Estrutura da Gestão de Ativos de acordo com a PAS 55, ajustada ao modelo PDCA (Adaptado e traduzido da PAS 55-1 (2008))..... iv

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 5.1.</b> Escala de comparação (adaptada (Mu <i>et al</i> , 2018)).....	109
<b>Tabela 5.2.</b> Matriz de comparações 2 a 2. ....	110
<b>Tabela 5.3.</b> Matriz de comparações iniciais 2 a 2 e pesos relativos gerais resultantes. ....	111
<b>Tabela 5.4.</b> Cálculo de $\lambda_{MAX}$ . ....	112
<b>Tabela 5.5.</b> Resultado final do AHP tradicional. ....	118
<b>Tabela 5.6.</b> Exemplos de aspetos internos (dependentes do funcionamento da organização) com influência na suscetibilidade e na capacidade de resolução (Hofmann <i>et al</i> , 2012). ....	122
<b>Tabela 5.7.</b> Exemplos de escalões de probabilidade.....	124
<b>Tabela 5.8.</b> Escalões para o impacto na segurança de pessoas (Catrinu <i>et al</i> , 2010)).	124
<b>Tabela 5.9.</b> Opções de tratamento da vulnerabilidade e possível impacto nos critérios de decisão. ....	128

# 1. Introdução

A Norma Portuguesa NP-EN 13306 (2007) define os termos genéricos usados na Manutenção. Nesta Norma, o termo Manutenção surge definido como “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”. Deste modo, compreende-se que as competências do engenheiro de manutenção na sua atividade não se devem ficar apenas pela vertente técnica.

Ao longo do último século verificou-se uma evolução da Manutenção que deu origem a três maneiras fundamentais de a encarar:

- manutenção corretiva, ocorre atuação apenas após uma avaria;
- manutenção preventiva, são procurados padrões de avaria numa população de equipamentos e são determinados momentos de atuação (em função do tempo, utilização, etc.), de modo genérico, antes do momento de avaria previsto para a evitar; e
- manutenção preditiva, é analisada a “saúde” individual de cada equipamento nas suas condições operacionais e são determinados momentos e atividades preventivas antes da avaria, com base em padrões conhecidos.

No entanto, estas três maneiras de manter ou repor a disponibilidade de um equipamento têm uma deficiência ao nível organizacional: só consideram a disponibilidade do bem ou do sistema em si. De acordo com a filosofia da Gestão de Ativos, há um aspeto adicional necessário a ter em conta para a otimização dos equipamentos e, portanto, da Manutenção: qual o papel ou valor desse bem para os objetivos da organização?

No desenvolvimento das atividades das organizações em que os equipamentos desempenham um papel fundamental, a manutenção compete com outras atividades (investimentos de capital, operação dos ativos, etc.) por recursos. Desse modo, o seu valor para a organização nunca poderá inteiramente determinado nem otimizado se a manutenção for considerada de modo isolado (Hastings, 2015).

Assim, a Gestão de Ativos, já definida em norma internacional, pode ser considerada como o próximo passo evolutivo na otimização da manutenção, ao ir além da mesma e enquadrá-la com o plano organizacional, pelo que é uma opção que no mínimo deve ser conhecida pelos envolvidos na atividade.

Convém desde já esclarecer que a Gestão de Ativos aqui tratada não se refere à matéria à qual o termo mais comumente se refere, que é a gestão de ativos financeiros com o objetivo de obter lucros, atuando unicamente do ponto de vista financeiro (Loyd, 2010). Apesar de poder ser aplicada a muitos tipos de ativos e de também se ter em consideração o retorno do investimento, como se lê mais à frente, a disciplina de Gestão de Ativos aqui tratada foi concebida com o intuito e aplica-se principalmente à gestão de ativos físicos, como “fábricas, máquinas, propriedades, edifícios, veículos e outros itens” (PAS 55-1, 2008).

Um dos alvos da Gestão de Ativos são as organizações que gerem sistemas complexos, devido às dificuldades introduzidas ao lidar com diversos processos, materiais, tecnologias ou exigências.

Um desses tais sistemas é uma rede pública de distribuição de energia elétrica. Diferentes tecnologias, diferentes necessidades de manutenção, distribuição geográfica extensa, equipamentos de longa vida útil, risco para a segurança de pessoas e bens, são algumas das características gerais dos ativos físicos destes complexos sistemas. Adicionalmente, a necessidade permanente de fornecimento de energia elétrica numa cadeia que por norma envolve diversos intervenientes e os impactos social e ambiental das redes aumentam a visibilidade e as exigências de desempenho das organizações responsáveis pela sua gestão.

A complexidade destas redes justifica o esforço adicional de implementação de uma estratégia formal e coordenada de gestão de ativos? Tal é sequer uma novidade para estas organizações? É o que se pretende aqui verificar.

## **1.1. Objetivos**

Esta dissertação foi abordada do ponto de vista de um responsável pela decisão de implementar a Gestão de Ativos de acordo com as ISO 5500x numa empresa responsável por uma rede de distribuição de energia elétrica. A fim de compreender e argumentar sobre a utilidade dessa implementação, foram estabelecidos os objetivos referidos em seguida para os vários Capítulos.

Para o Capítulo 2, o objetivo é estabelecer as bases da Gestão de Ativos: como surgiu, em que se baseia, quais são os seus objetivos e qual o seu papel numa organização. É também objetivo descrever os documentos normativos relevantes sobre a Gestão de Ativos, em particular as ISO 5500x.

No Capítulo 3 o objetivo é abordar a Gestão de Ativos segundo as ISO 5500x do ponto de vista prático, determinando em que consiste a sua implementação prática e que valor pode acrescentar às organizações. Para completar a análise ao valor das ISO 5500x, é também objetivo comparar a Gestão de Ativos com outras práticas estabelecidas no estado da técnica e analisar alguns relatos práticos.

No Capítulo 4, pretende-se determinar o que caracteriza as redes de distribuição de energia elétrica e os desafios relacionados com os seus ativos e a sua gestão, de modo a perceber de que modo a metodologia das ISO 5500x pode acrescentar valor às organizações responsáveis pela sua gestão e, assim, determinar se de facto apresenta alguma utilidade ou diferenciação ao já praticado e, se sim, em que aspeto.

No Capítulo 5 pretende-se definir uma metodologia ao nível estratégico, que sirva como base para priorizar recursos e justificar opções de investimento e manutenção, com foco no controlo de riscos, com base na filosofia das ISO 5500x, aplicada às atividades das redes de distribuição, de modo a demonstrar a integração dessa filosofia. É também objetivo desenvolver uma ferramenta em suporte informático de suporte a esta metodologia.

## **1.2. Motivação Pessoal**

As motivações para o desenvolvimento desta dissertação passam essencialmente pela vontade de aprender e de desenvolver conhecimentos nestes dois campos, até aqui praticamente desconhecidos, em particular em relação à Gestão de Ativos pois aparenta possuir as bases para o desenvolvimento bem-sucedido da manutenção enquadrada com o plano organizacional.

Com o desenvolvimento das novas tecnologias, há muito conhecimento difundido e facilmente alcançável a quem tenha motivação para o procurar. Adicionalmente, a experiência laboral pessoal revelou que o ensino académico é apenas um ponto de partida e que no mercado de trabalho é requerida grande especificidade de conhecimentos em muitas atividades.

Assim, discutivelmente, o papel do engenheiro do futuro passa não só por ser um banco de conhecimento, mas talvez mais por ser alguém facilmente adaptável, capaz de desenvolver conhecimentos por si próprio, tornar-se experiente e de saber filtrar desinformação.

Pretende-se aqui, portanto, demonstrar essa capacidade tão necessária.

### **1.3. Metodologia**

Esta dissertação foi desenvolvida recorrendo apenas a conhecimento difundido, sem intervenção pessoal junto de organizações envolvidas na atividade, de modo a permitir maior liberdade de planeamento.

Para obter conhecimentos sobre as atividades da Gestão de Ativos e das características das redes de distribuição de energia elétrica recorreu-se a: livros de editoras reputáveis internacionalmente; documentos disponibilizados por organizações diretamente relacionadas com o desenvolvimento da Gestão de Ativos, como o Instituto de Gestão de Ativos (IAM - *Institute of Asset Management*); documentos normativos de relevância internacional, em particular da Organização Internacional de Normalização (ISO - *International Organization for Standardization*); e artigos de conferências ou publicações científicas revistas por pares. Na procura de exemplos de implementação das ISO 5500x tomou-se alguma liberdade para obter a opinião de quem o realizou e recorreu-se a artigos de revista da especialidade e a documentos de organizações de indústrias específicas.

Uma grande fonte de conhecimento a respeito da descrição e das atividades das redes de distribuição foi o Conselho Internacional de Grandes Sistemas Elétricos (CIGRE – *Conseil International des Grands Réseaux Électriques*). Conforme refere Tjernberg (2018), o CIGRE é uma associação internacional centenária, que compreende múltiplos grupos de estudo em múltiplas matérias que difundem e desenvolvem novas metodologias e resultados estatísticos a nível global relativos à atividade, com publicações em revista própria (*Electra*), em brochuras técnicas (*Technical Brochure*) e em livros (*CIGRE Green Books*), de referência em documentos de organizações internacionais, como em IEC (2015).

## **2. Introdução à Gestão de Ativos**

### **2.1. Termos fundamentais**

Antes de esclarecer em que consiste a Gestão de Ativos, é conveniente primeiro estabelecer a definição de alguns termos fundamentais associados à temática, em concordância com o referido nos documentos normativos pertinentes. Desse modo, exceto onde referido de outro modo, os parágrafos seguintes do ponto 2.2 estão escritos de acordo com as definições contidas na NP ISO 55000 (2016), por ser o documento normativo mais recente da temática com validade em Portugal.

#### **2.1.1. Organização e Objetivos organizacionais**

Organização é um termo utilizado para referir “pessoa ou grupo de pessoas com as funções próprias, com responsabilidades, autoridades e relações para atingir os seus objetivos”, o que inclui não só empresas com fins lucrativos, como também outras instituições, empresas e parcerias, públicas ou privadas.

À pessoa ou pessoas que dirigem e controlam uma organização ao mais alto nível denomina-se por “gestão de topo”. Quando apenas se considera uma parte da organização, a gestão de topo refere-se àquele(s) que dirigem e controlam essa parte.

Os objetivos abrangentes que estabelecem o contexto e a orientação globais das atividades da organização designam-se aqui como “objetivos organizacionais” ou “objetivos da organização” e fazem parte do “plano organizacional”. Entre essas atividades que se orientam segundo os objetivos da organização inclui-se a gestão de ativos, a qual possui o seu próprio conjunto individual de objetivos e que, para diferenciação, aqui são sempre denominados como “objetivos da gestão de ativos”.

#### **2.1.2. Parte interessada**

O termo parte interessada refere-se a qualquer “pessoa ou organização que pode influenciar, ser influenciado ou perceber que pode ser influenciado por uma decisão ou por uma atividade” relacionada com as atividades da organização em questão. É também comum designar parte interessada pela tradução inglesa *stakeholder*.

De acordo com a ISO 55002 (2018), as partes interessadas são categorizadas como: internas, no caso de estarem incluídas na estrutura da organização, como colaboradores, departamentos de trabalho da organização (operação, manutenção, etc.),

acionistas, proprietários, etc.; ou como externas, no caso de clientes, fornecedores, investidores, reguladores, organizações governamentais e não-governamentais relacionadas com questões ligadas à operação da organização, comunidades locais, entre outros.

### **2.1.3. Ativo e Valor**

Um ativo é um “bem, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização”.

O valor pode ser financeiro ou não e é determinado de acordo com os objetivos definidos para a organização e com as necessidades e expectativas das partes interessadas. Este valor pode variar ao longo do ciclo de vida do ativo. Para clarificar a distinção entre custo e valor, a ISO 55002 (2018) define que o valor gerado por um ativo é constituído pelos benefícios (financeiros ou outros) derivados à sua utilização, posse ou ser seu proprietário.

Os ativos podem ser tangíveis ou intangíveis, sendo que “ativos tangíveis” refere-se a elementos físicos como, por exemplo, “equipamento, inventários e bens propriedade da organização”, enquanto que os “ativos intangíveis” são não-físicos e incluem software, licenças, marcas, direitos de exploração, reputação, acordos, entre outros. A presente dissertação está mais focada nos ativos tangíveis, mas sem esquecer que a sua correta gestão pode influenciar o valor de alguns ativos intangíveis, como, por exemplo, os direitos de exploração e a reputação da organização, e vice-versa.

A NP ISO 55000 (2016) também menciona o termo “sistema de ativos” aplicado a um conjunto de ativos que interagem ou estão interrelacionados, o que em certos casos pode facilitar a organização de informação, a gestão da manutenção, a definição de objetivos para um conjunto, etc. De acordo com Roda *et al* (2016), na implementação da gestão de ativos a consideração do agrupamento de ativos em sistemas não é apenas uma opção, mas uma necessidade, uma vez que raramente um ativo produz valor por si só, pelo que quando se está a analisar a criticidade e risco de falha de um ativo deve ser tido em conta o papel que tem para o sistema em que está inserido e como pode afetar o valor do mesmo. Conforme referido na PAS 55-1 (2008), uma diferença significativa entre um ativo singular e um sistema de ativos é que um ativo singular pode ter um ciclo de vida facilmente identificável em termos temporais que pode ser otimizado, enquanto que um sistema de ativos pode ter uma vida sem fim determinado.

O conjunto de todos os ativos abrangidos pelo sistema de gestão de ativos designa-se portefólio de ativos. Por conveniência de controlo empresarial, podem ser definidos múltiplos portefólios abrangidos pelo mesmo sistema de gestão de ativos, por exemplo, agrupando os ativos tendo em conta a sua categoria (instalações, máquinas, veículos, etc.) ou a sua distribuição geográfica, definindo objetivos individuais para cada portefólio, como conveniente.

Convém também referir a definição de “ativos críticos” – uma vez que tal permite a sua identificação –, que são descritos como sendo aqueles que possuem “potencial para influenciar significativamente o cumprimento dos objetivos da organização”. Os ativos podem ser determinados como críticos devido ao possível impacto significativo para a segurança, o meio ambiente e/ou para o desempenho da organização e também por afetarem o fornecimento de serviços a clientes críticos.

#### **2.1.4. Ciclo de vida de um ativo físico**

O ciclo de vida de um ativo físico diz respeito às várias etapas que compreendem a sua vida, iniciando-se com a sua conceção e terminando com o fim de serviço e sua eliminação. Não existe uniformidade na definição, descrição ou quantidade de etapas, pois tal depende do tipo de ativo em questão. No entanto, de um modo geral simplificado, conforme definido na PAS 55-1 (2008), as etapas principais incluem: identificação de necessidade, criação ou aquisição, utilização/operação, manutenção e por fim a renovação ou eliminação. Ainda na PAS 55-1 (2008) se refere que o ciclo de vida se inicia inclusivamente com a identificação da necessidade de um ativo, desse modo incluindo a etapa de determinação do ativo adequado no ciclo.

A responsabilidade de uma organização sobre um ativo não engloba necessariamente todo o seu ciclo de vida.

## **2.2. O que caracteriza a Gestão de Ativos**

A necessidade de gerir ativos de modo otimizado não é algo identificado recentemente e nem todas as ferramentas que a compõem, como gestão de risco, são inovadores ou diferenciáveis de outras abordagens, como será explicado mais à frente. No entanto, o que é recente é a formalização e o enquadramento das práticas necessárias para a otimização (Konstantakos *et al*, 2019).

### 2.2.1. A gênese da Gestão de Ativos

Nos anos 70 surgiu a referência a uma visão holística através da terotecnologia (Konstantakos *et al*, 2019). O termo “Gestão de Ativos” aplicado a ativos físicos disseminou-se no Reino Unido, na Austrália e na Nova Zelândia no início da década de 1980, na indústria petrolífera e no setor público (IAM, 2015). Surgiu da necessidade de melhorar a informação sobre os ativos dessas indústrias e de melhorar o controle sobre os seus processos de gestão, de modo a repensar processos ao longo do ciclo de vida dos ativos, com vista a melhorar a eficiência das organizações que se encontravam estagnadas (Loyd, 2010).

Na procura do que constitui a gestão otimizada de ativos físicos surgiu a percepção de que a mesma é multidisciplinar e tem de ir além dos ativos em si: implica a definição de objetivos fundamentados, conhecimento técnico e financeiro, gestão de risco, gestão de pessoas, comunicação, informação, finanças, atividades e a gestão de ativos intangíveis (Woodhouse, 2014).

Na ISO 55000 (2014) identificam-se os 4 princípios fundamentais considerados como sendo a base de uma gestão de ativos otimizada:

- **Valor** – os ativos existem para responder a necessidades da organização e das partes interessadas, o que se traduz no valor dos ativos (ver 2.1.3), pelo que é necessário determinar o que define valor e otimizar esses aspetos;
- **Alinhamento** – é necessário que os objetivos e decisões das várias funções de uma organização (técnicas, financeiras, operacionais, etc.) relacionadas com os ativos, desde o nível estratégico da gestão de topo até ao nível operacional da execução e desde o nível de portefólio até aos ativos individuais, estejam alinhados com os objetivos da organização e a definição de valor, que resultem numa aplicação da estratégia definida e, adicionalmente, que esse alinhamento seja percecionado pelas partes interessadas, interna e externamente, desse modo justificando a tomada de decisões, motivando a melhoria contínua derivada da compreensão da motivação das atividades (IAM, 2015) e evitando a trajetória isolada das diversas funções da organização;
- **Liderança** – é necessária uma estrutura e cultura empresarial que mantenham o alinhamento da organização na percepção e produção de valor dos ativos. Para tal, é necessária liderança dos responsáveis nos vários níveis da organização e particularmente pela gestão de topo que deve liderar demonstrando

compromisso – conforme adicionado em IAM (2015), uma cultura empresarial adequada ajuda também a colmatar os detalhes das atividades que não se conseguem especificar em documentação;

- **Garantia** – com a gestão de ativos pretende-se obter garantia de que os ativos e o próprio sistema de gestão de ativos cumprem o seu propósito consistentemente, ou seja, que o seu valor seja concretizado, pelo que é necessário implementar processos com esse intuito, como gestão de risco, monitorização de atividades e avaliação de desempenho.

Um outro aspeto importante a ter em conta na Gestão de Ativos físicos, segundo IAM (2015) e referido várias vezes nas ISO 5500x, é a orientação para todo o ciclo de vida dos ativos na tomada de decisões. O estado dos ativos físicos varia em função do tempo e serviço, tal como por vezes acontece também com a sua necessidade, o que resulta numa alteração do valor dos ativos para a organização. Adicionalmente, conforme referido em IAM (2015), as atividades realizadas em cada etapa do ciclo de vida de um ativo afetam o desempenho e os custos das etapas subsequentes e do sistema em que o ativo está incluído, em particular a fase de conceção pode determinar até 80% de todo o ciclo de vida de um ativo e grande parte do seu impacto social e ambiental. Conforme referem Roda *et al* (2018), a orientação para o ciclo de vida significa que devem ser estabelecidos objetivos a curto e longo termo na tomada de decisões e que deve ser estabelecido um equilíbrio entre os dois.

A gestão de ativos não exclui indústrias ou organizações, mas em IAM (2015) referem-se 3 características do contexto de uma organização que motivam a implementação da gestão de ativos:

- importância de gerir os ativos de modo otimizado, derivado por exemplo à criticidade dos sistemas de ativos;
- dificuldade em gerir os ativos de modo otimizado, derivado por exemplo à escala e complexidade do portefólio de ativos; e
- existência de restrições e oportunidades na gestão otimizada dos ativos ao longo do seu ciclo de vida, derivado por exemplo à volatilidade da área de atividade da organização.

### **2.2.2. Definição de Gestão de Ativos**

Na literatura normativa encontram-se várias definições acerca do que é então a Gestão de Ativos.

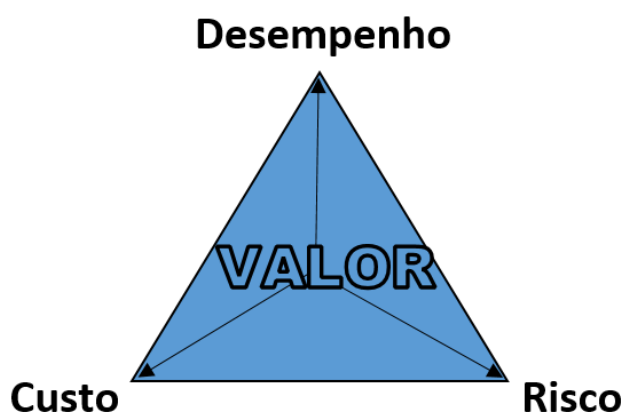
Na PAS 55-1 (2008) define-se gestão de ativos como “as atividades e práticas sistemáticas e coordenadas através das quais uma organização gere otimizada e sustentavelmente os seus ativos e sistemas de ativos e os seus desempenhos, riscos e custos ao longo do seu ciclo de vida, com o objetivo de concretizar o plano estratégico da organização”. Desta definição é possível inferir que a atividade gestão de ativos vai além de realizar uma correta gestão do estado dos ativos de uma organização durante o período de vida útil (i.e., operação e manutenção). Conforme já referido, o ciclo de vida inclui a determinação dos ativos apropriados a adquirir ou criar, determinar o modo adequado de os operar e manter e a determinação dos métodos ótimos de renovação ou eliminação. Seguindo os ensinamentos contidos na PAS 55-1 e 2 (2008), pode-se então depreender que a gestão de ativos consiste em compreender de que modo os aspetos relativos a todo o ciclo de vida dos ativos influenciam o plano estratégico da organização e, desse modo, auxiliar a tomar e justificar decisões e direcionar a gestão dos ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida, a fim de maximizar o seu valor para a organização.

Na PAS 55-1 (2008) refere-se ainda que a gestão de ativos é uma ferramenta fundamental de coordenação e otimização para organizações que estão fortemente dependentes do desempenho dos seus ativos e/ou em que se verifica complexidade na obtenção do melhor rácio valor/custo, como em indústrias com ativos com características muito diversificadas inseridos em sistemas complexos, ao mesmo tempo que há necessidade de ter em consideração outros objetivos e prioridades da organização ao nível global, como o impacto ambiental.

A definição contida na ISO 55000 (2014) é mais generalista (Woodhouse, 2014) e centra-se na noção de valor dos ativos em vez de nos ativos propriamente ditos: “atividade coordenada de uma organização para perceber e produzir valor a partir dos ativos” para a organização e outras partes interessadas. Da utilização do adjetivo “coordenada” pode-se inferir alinhamento de áreas distintas de uma organização.

Segundo a ISO 55000 (2014), as necessidades e expectativas de cada parte interessada (incluindo a consideração dos objetivos da própria organização) identificam o que constitui valor nas atividades da organização. A gestão de ativos não diz respeito a

questões de melhoramento de produtividade. Mas, segundo a ISO 55000 (2014), a otimização na produção desse valor a partir dos ativos requer à organização planejar atividades ao longo do ciclo de vida dos ativos com um equilíbrio entre custos e riscos associados ao desempenho dos ativos (ver **Figura 2.1**). O controle de riscos deve englobar não só controlar as ameaças provenientes da falha dos ativos, mas também identificar e aproveitar oportunidades.



**Figura 2.1.** Otimização do valor obtido de um ativo através do equilíbrio entre custo, risco e desempenho.

### **2.2.3. O papel da Gestão de Ativos na organização**

Em termos mais práticos, que papel desempenha então a gestão de ativos numa organização?

Como refere Hastings (2015), a gestão de ativos vem preencher a necessidade de uma ferramenta para tomada de decisões que constitua uma ponte entre as perspectivas financeira, gestão, técnica e controlo de risco, otimizando o equilíbrio dos custos, riscos e desempenhos associados, com interveniência em todas as fases do ciclo de vida dos ativos, desde a conceção da necessidade dos ativos, passando pelo planeamento, operação e manutenção até à renovação, substituição ou eliminação dos mesmos. Adicionalmente, consiste em determinar os ativos apropriados, em alinhamento com os objetivos da organização e as necessidades e expectativas das partes interessadas, e proporcionar os planos e meios necessários para obter e manter o nível de serviço pretendido (Konstantakos *et al*, 2019).

Segundo Hastings (2015), a gestão de ativos, além de uma intervenção horizontal, também pretende combinar as perspectivas dos vários níveis no sentido vertical de uma organização em relação aos ativos físicos, desde o nível estratégico, passando pelo nível

tático até ao nível operacional e vice-versa, servindo como meio de comunicação e tradução para obter clareza e consistência. Por exemplo, é função da gestão de ativos considerar as necessidades relacionadas com ativos verificadas ao nível operacional, compreender e traduzir a sua importância de acordo com o plano estratégico da organização, tomar decisões e traduzi-las para o ponto de vista técnico e financeiro para a gestão de topo e outras partes interessadas. Hastings (2015) salienta a diferença entre os focos principais da gestão de topo e do nível operacional que a gestão de ativos pretende colmatar:

<b><u>Gestão de topo</u></b>	<b><u>Nível Operacional</u></b>
Lucros	Disponibilidade de equipamentos
Responsabilidade social	Manutenção
Estratégia de negócio	Logística
Imagem de marca	Riscos
	Continuidade
	Tecnologia

Assim, resumindo, o que está por detrás da génese da Gestão de Ativos e a distingue de outras matérias é a formalização da estratégia e do enquadramento das melhores práticas para extrair o valor máximo dos ativos, coordenando várias atividades (de várias disciplinas) relacionadas com os ativos num único foco (Loyd, 2010). O que se pretende com a Gestão de Ativos vai além da finalidade da engenharia de manutenção tradicional que é manter, restaurar e aumentar a disponibilidade dos ativos. Segundo a Gestão de Ativos, os ativos são um meio para o fim. O objetivo é aumentar a segurança de um sistema e reduzir os custos necessários para obter um desempenho benéfico para a organização e as partes interessadas, para tal planeando atividades para atingir os objetivos, sendo a manutenção apenas uma dessas atividades (Petchrompo *et al*, 2019).

#### **2.2.4. Sistema de Gestão de Ativos (SGA)**

É importante salientar aqui a definição de sistema de gestão de ativos (SGA), de acordo com a ISO 55000 (2014), pois é um termo bastante utilizado neste documento.

Um SGA é uma ferramenta que permite implementar e melhorar a estratégia de gestão de ativos numa organização. Corresponde a um conjunto de elementos interrelacionados e interatuantes de uma organização, cujo objetivo é “estabelecer a política e os objetivos de gestão de ativos,” – definidos a partir dos objetivos globais da organização – “bem como os processos necessários para atingir esses objetivos”, desse

modo alcançando o valor pretendido dos ativos para a organização e as partes interessadas. Estes elementos incluem: políticas, planos, atividades de controlo e avaliação de desempenho, atividades de melhoria, orientações quanto à ligação com outras áreas funcionais da organização, entre outros.

É importante não confundir o SGA com o(s) sistema(s) de informação que permite(m) a recolha, tratamento, organização e utilização de informação pertinente.

### **2.3. A Normalização da Gestão de Ativos**

Como referido por Tasker *et al* (2014), os documentos normativos promovem a inovação ao definir a base das boas práticas, definem vocabulário técnico e aumentam a confiança de investidores e clientes nas atividades de uma organização que seja certificada. Desse modo, podem ser um ponto de partida para uma organização adotar novas práticas e melhorar a sua reputação.

A normalização da filosofia de Gestão de Ativos iniciou-se em 2004 com a publicação da PAS 55, depois reeditada em 2008. No Anexo I é analisado este documento em maior detalhe que, embora não seja aqui usado para estabelecer o SGA pois foi suplantado pelas ISO 5500x, ainda poderá servir de auxílio, uma vez que foi o documento que serviu de base às ISO 5500x.

No Anexo I são também descritos em detalhe outros documentos normativos sobre a Gestão de Ativos que fornecem auxílio suplementar às ISO 5500x na aplicação desta metodologia, em específico a EN 16646 (2014) e a ISO-TS 55010 (2019).

#### **2.3.1. Análise das normas ISO**

O objetivo principal de uma norma é determinar e divulgar métodos acordados de execução de alguma atividade, seja ela de nomenclatura, especificação, medição, teste, gestão, entre outras (Hatto, 2013).

Existem diversos organismos a publicar normas para acesso público. Algumas são publicadas pelos organismos formais a vários níveis: nacional, como o Instituto Português da Qualidade (IPQ) e o Instituto de Normalização Britânico (BSI - *British Standards Institution*); regional, como o Comité Europeu de Normalização (CEN); e internacional, como a ISO e a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*). Outras são publicadas por organismos independentes, alguns de elevada reputação internacional (Hatto, 2013), como o Instituto de Engenheiros

de Eletricidade e Eletrônica (IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e a ASTM Internacional (previamente, *American Society for Testing and Materials* - Sociedade Americana de Ensaios e Materiais).

Algo em comum para os vários organismos é que as normas publicadas são selecionadas e desenvolvidas por elementos inseridos na área da norma, tal como peritos, empresas, associações industriais ou comerciais, etc., que são membros dos organismos publicadores de normas, e não por esses organismos em si. Isto é, a vontade de criação de uma norma não parte dos organismos que gerem o processo de aprovação e publicação, mas sim das comunidades técnicas que vão beneficiar da existência dessa norma, que voluntariamente identificam a necessidade e objetivos de uma norma (Hatto, 2013).

Um dos princípios presente na elaboração das normas ISO é a obtenção de consenso ao longo das várias fases processuais de criação de uma norma (ISO/IEC, 2019). De acordo com ISO/IEC (2019), consenso implica a obtenção de concordância geral, tendo em conta todas as oposições apresentadas incompatíveis com essa concordância geral, ou seja, considerando todas as perspectivas apresentadas na resolução de desacordos técnicos significativos. Tal adquire valor adicional devido à participação a nível internacional.

Com a obtenção de consenso e a participação voluntária por parte das comunidades técnicas que são afetadas pelas normas, é objetivo da ISO desenvolver documentos que descrevem meios reconhecidos, credíveis e otimizados para assegurar a qualidade, segurança, interoperabilidade e fiabilidade de produtos, processos e serviços (Hatto, 2013). Além disso, de acordo com Hatto (2013), as normas ISO proporcionam suporte técnico para a regulação e impulsionam os mercados, ao fomentar a competitividade entre as empresas (ao divulgarem a melhor prática).

O cumprimento de uma norma por si só é normalmente meramente voluntário (ISO/IEC, 2019), apenas é obrigatório quando referido em diploma legal ou num contrato. No entanto, Hatto (2013) refere outros exemplos em que, devido à valorização que é dada às normas ISO, o seu não cumprimento pode originar consequências legais, como: quando existir dissimulação de cumprimento; ou na eventualidade de um litígio em que se demonstre que o cumprimento dos requisitos de uma norma poderia ter reduzido ou eliminado o impacto da ocorrência que originou esse litígio, o seu não cumprimento pode ser entendido como negligência.

A revisão das normas ISO ocorre no máximo a cada 5 anos após a sua publicação, em que se determina se a informação que contém se mantém atual, ou se a norma deve ser alterada ou anulada. Não possuem limite de validade (ISO/IEC, 2019).

De notar, no entanto, a existência de custos, tempo e esforço com auditorias e acompanhamento anual associados à certificação de acordo com normas.

### **2.3.2. ISO 55000, 55001 e 55002 – 2014 e 2018**

A família de normas ISO 5500x – 55000, 55001 e 55002 –, referente à gestão de ativos, foi primeiro publicada em 2014. Em 2018 foi publicada a 2ª edição da ISO 55002.

A elaboração desta família de normas teve a PAS 55 partes 1 e 2 (2008) como documento de base. As características principais foram mantidas, mas existem algumas alterações prontamente evidentes. Uma delas é a estrutura, que para a ISO 5500x foi adaptada às diretrizes para sistemas de gestão da ISO (ISO/IEC, 2019). Outra diferença significativa, verificável na ISO 55000, é o alargamento do âmbito além dos ativos físicos, sendo as ISO 5500x aplicáveis também a ativos intangíveis – reconhece-se, no entanto, que se destina em particular a ativos físicos –, o que levou à utilização de uma linguagem mais generalista e abrangente nos documentos, logo perceptível na definição de gestão de ativos, como já referido acima no ponto 2.2.2.

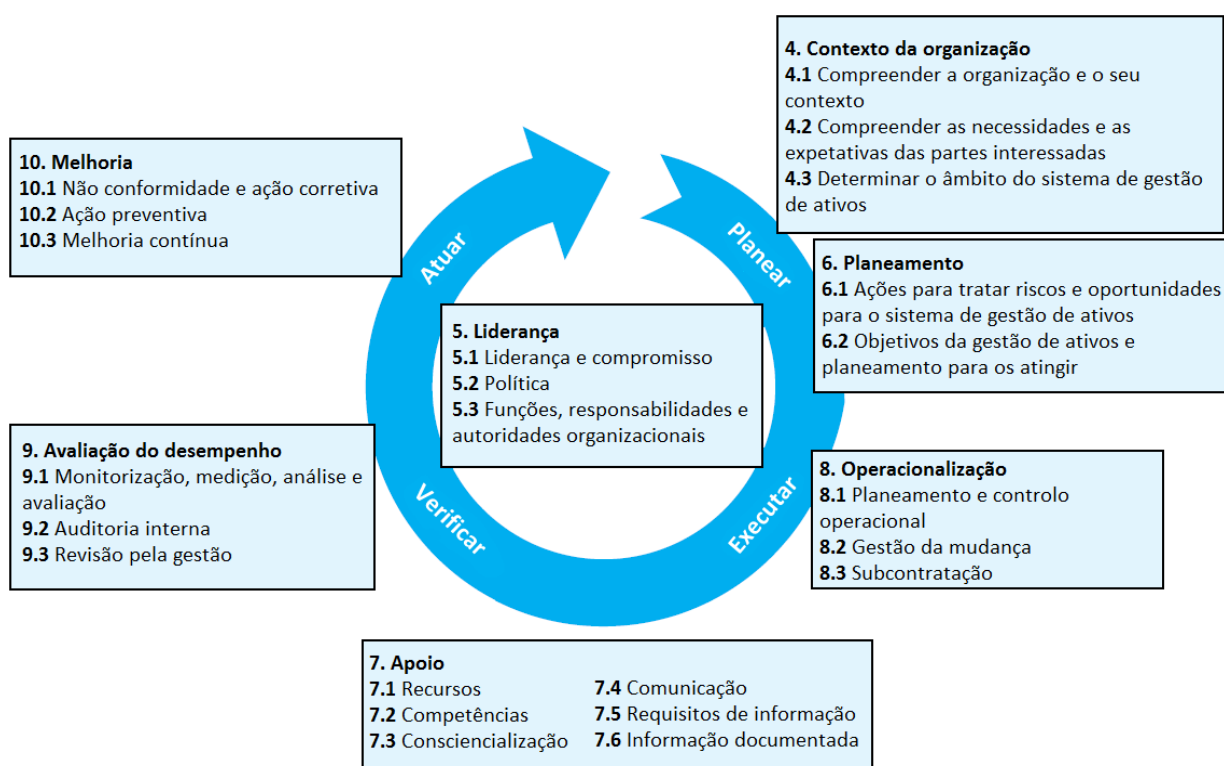
A ISO 55000 (2014) apresenta a “visão geral, princípios e terminologia” da gestão de ativos, servindo como introdução ao tema – não apresenta requisitos. Referem-se os benefícios que se pretendem obter, entre outros: decisões fundamentadas de investimento em ativos, gestão do risco, melhoria de serviço, melhoria da reputação, melhoria da eficiência e da eficácia. Como já referido em 2.2, identifica os princípios fundamentais da gestão de ativos: valor, alinhamento, liderança e garantia.

A ISO 55001 (2014), “sistemas de gestão – requisitos”, indica os requisitos para a certificação de um sistema de gestão de ativos (SGA) (ver definição acima em 2.2.4), o qual serve como ferramenta para coordenação de atividades da gestão de ativos. Trata-se de um documento sem indústria-alvo definida, com o objetivo de “ser aplicada a todos os tipos de ativos e por todos os tipos de organizações, seja qual for a sua dimensão”, pelo que carece de indicações específicas. É observável um menor nível de especificação em alguns requisitos em comparação com a PAS 55-1 (2008), conforme reparam Konstantakos *et al* (2019), por exemplo, nos que dizem respeito à gestão de risco

– possivelmente para não entrar em conflito com a ISO 31000 - “Gestão do risco – Linhas de Orientação”.

Como referido na ISO 55000 (2014), um SGA contém apenas uma parte das atividades de gestão de ativos, existem outras que não se inserem no mesmo, tal como a gestão da liderança, cultura empresarial e a motivação dos colaboradores.

A ISO 55001 (2014) foi elaborada seguindo as diretrizes ISO para sistemas de gestão (ISO/IEC, 2019), pelo que é fácil enquadrar as suas cláusulas com o modelo PDCA, conforme se pode observar pela **Figura 2.2** (as cláusulas 5 e 7 são transcendentais a todo o modelo). De notar que a PAS 55-1 (2008) também se enquadra com este modelo.



**Figura 2.2.** Representação das cláusulas da ISO 55001 segundo o modelo PDCA (Adaptado (IAM, 2015) com alteração da organização das cláusulas).

A ISO 55002 (2018) fornece descrições adicionais acerca do que deve ser feito para cumprir cada requisito da ISO 55001 (é o documento equivalente à PAS 55-2), fornece explicações sobre a importância dos mesmos e esclarece adicionalmente alguns conceitos, como a definição de valor e o sistema de tomada de decisões. Ainda assim, não descreve a implementação prática para realizar o que deve ser feito, nem fornece orientações quanto a ativos ou indústrias específicas – mantendo o âmbito alargado da ISO 55001.

Igualmente como na PAS 55-2 (2008), na ISO 55002 (2018) refere-se que um SGA que atinja o cumprimento dos requisitos da ISO 55001 deve ser visto como um ponto de partida para uma gestão de ativos eficaz, não um objetivo final. Desse modo, a ISO 55001 (2014) é útil como uma ferramenta de estruturação das atividades de gestão de ativos, mas não descreve necessariamente as práticas mais desenvolvidas e complexas do estado da técnica. De facto, na ISO 55002 (2018) faz-se referência em algumas secções a técnicas reconhecidas como a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*) ou a Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha (FMECA – *Failure Modes Effects and Criticality Analysis*) e a outros documentos normativos, como a IEC 31010 - “Técnicas de Gestão de Risco”. A reedição de 2018 pode ser vista como um entendimento da necessidade de orientações mais concretas quanto à implementação da gestão de ativos.

A falta de diretrizes específicas de implementação das ISO 5500x tem vantagens e desvantagens. Por um lado, dá liberdade às organizações de escolher as técnicas adequadas de acordo com o seu contexto, a sua dimensão e princípios sem que isso prejudique a sua certificação, mas por outro dificulta a implementação (Roda *et al*, 2018). Como referido na ISO 55000 (2014), a ISO 55001 pode ser aplicada em combinação com outras normas ou especificações técnicas de atividades ou ativos específicos.

Como referido em 2.3.1 para qualquer norma ISO, as ISO 5500x foram publicadas após obter consenso a nível internacional entre as partes voluntariamente intervenientes. Além do consenso na aprovação, na elaboração das ISO 5500x estiveram envolvidos peritos de 31 países que contribuíram com experiência e métodos efetivamente aplicados na prática, segundo referem Konstantakos *et al* (2019). Como tal, pode ser entendida como o documento internacional de referência da prática de gestão de ativos. Adicionalmente, a publicação da ISO 55000 (2014) representa consenso sobre os princípios fundamentais da gestão de ativos.

A família de normas ISO 5500x encontra-se em vigor à data (base de dados do IPQ<sup>1</sup>) e está também convertida em família de normas nacional, as NP ISO 5500x, cujo processo de conversão está descrito em maior detalhe no Anexo I.

---

<sup>1</sup> <http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/pesquisarnormas.aspx>

## **3. A Gestão de Ativos do ponto de vista prático**

A Gestão de Ativos é neste capítulo observada de um ponto de vista prático, começando com uma abordagem de implementação geral de um sistema de gestão de ativos, com explicação dos vários elementos que o compõem, depois analisando o que a demarca de estratégias concorrentes de gestão e manutenção de ativos físicos e por fim reportando alguns casos de implementação.

### **3.1. Abordagem geral de implementação de um SGA segundo as ISO 5500x**

A ISO 55001 (2014) possui 27 cláusulas que contêm os requisitos necessários para certificação de um SGA. No entanto, como referido na ISO 55001 (2014), a ordem pela qual os requisitos são apresentados não deve ser entendida como ordem de implementação ou importância, ou seja, não é indicado nenhum método de aplicação, ficando tal a cargo do utilizador, com auxílio da ISO 55002 (2018) apenas quanto a explicações sobre as cláusulas.

Convém, portanto, formular uma abordagem, de um modo geral, de conceção de um SGA e dos elementos que o constituem, servindo de ponto de partida para o caso particular.

Existem modelos de implementação da gestão de ativos formulados por organismos independentes da ISO. O IAM, patrocinador da PAS 55, descreve um modelo de implementação (IAM, 2015), em que as atividades da gestão de ativos estão divididas em 6 grupos: estratégia e planeamento; tomada de decisões da gestão de ativos; implementação de planos de ciclo de vida; informação sobre os ativos; organização e pessoas; e risco e revisão. Não obstante o valor deste e outros modelos, seguindo o referido por Hastings (2015), a certificação segundo a ISO 55001 será mais fácil se for demonstrável a aplicação das cláusulas na prática. Por esse motivo, a abordagem elaborada neste ponto segue e tem por base os requisitos necessários para certificação contidos na ISO 55001 (2014), uma vez que se trata do documento de referência a nível internacional, como já demonstrado.

Assim, pretende-se aqui seguir a estruturação da ISO 55001 (2014) mas, principalmente, colmatar a ausência de informação de implementação prática das ISO

5500x, nomeadamente: identificar as etapas de implementação do SGA, identificar e definir os elementos que o compõem e incluir recomendações adicionais indicadas na ISO 55000 (2014), na ISO 55002 (2018) e noutros documentos que permitem otimizar o SGA (seguindo o espírito da melhoria contínua de que a certificação é apenas o ponto de partida (ISO 55002, 2018)), identificando onde aplicável a aplicação dos princípios fundamentais da gestão de ativos distinguidos na ISO 55000 (2014) de valor, alinhamento, liderança e garantia.

### **3.1.1. Avaliação inicial**

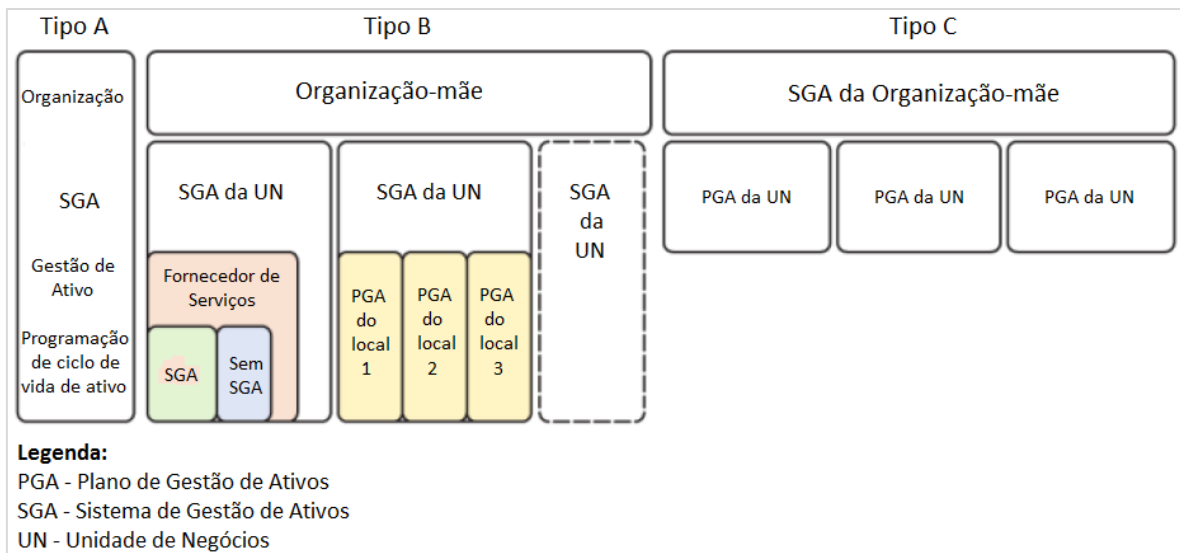
Como já referido em 2.2, muitas das atividades da gestão de ativos já são tidas em consideração pelas organizações, ainda que não estejam definidas tão objetivamente ou estruturadas como nas ISO 5500x (Lima *et al*, 2019).

Como tal, Blackmore *et al* (2015) sugerem um primeiro passo de entendimento daquilo em que consiste a gestão de ativos, as vantagens que pode gerar e os requisitos da ISO 55001, caso se procure a certificação, principalmente junto da gestão de topo e das pessoas que serão responsáveis pela implementação.

Em seguida, conforme também sugerido na ISO 55002 (2018), a implementação da ISO 55001 deve iniciar-se com a avaliação do nível de maturidade em que uma organização se encontra em relação à gestão de ativos, confrontando as suas atividades com os requisitos da ISO 55001.

Este passo permite à organização obter uma perspetiva inicial quanto ao esforço técnico e os recursos que serão necessários para atingir o cumprimento da ISO 55001 e, juntamente com uma análise das capacidades da organização em termos de conhecimento e recursos (capital, pessoas, tempo, tecnologia, etc.) disponíveis para a gestão de ativos, determinar se a implementação do SGA é exequível, se deve ser escalonada, que elementos devem ser priorizados ou excluídos no caso de implementação parcial sem certificação e se é sequer vantajosa, tendo em conta os objetivos e outros desafios prementes da organização.

Conforme referido na ISO 55002 (2018), um SGA é apenas uma parte da gestão de ativos. Assim, existem várias opções de implementação, como verificado na **Figura 3.1**, como por exemplo: um SGA afeto a alguns ativos enquanto outros são geridos individualmente; vários SGA afetos a unidades de negócio distintas; SGA desenvolvido por fornecedores de serviços; etc.



**Figura 3.1.** Exemplos de implementação da gestão de ativos a várias unidades de negócio de uma organização (Retirado e traduzido da ISO 55002 (2018)).

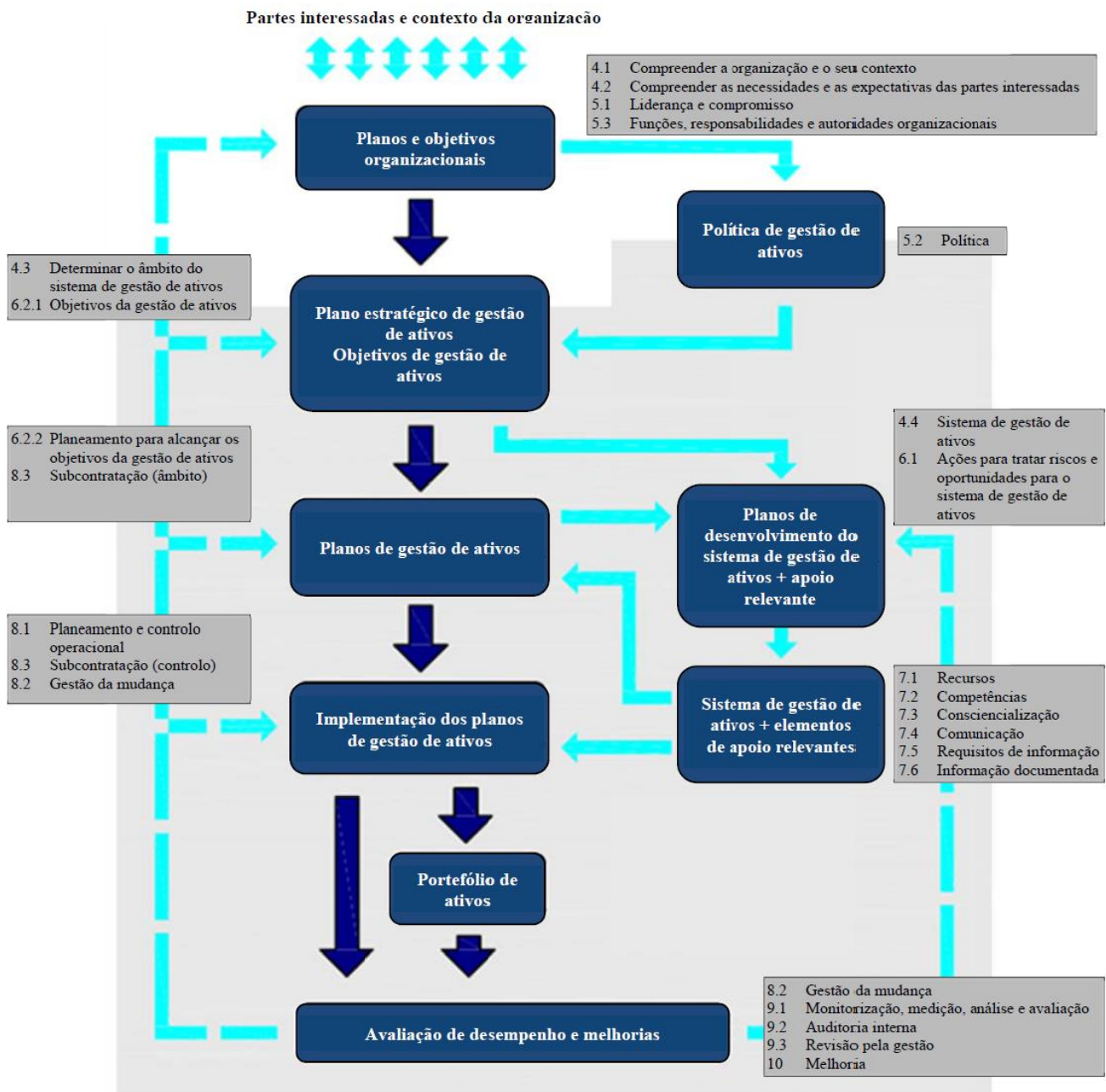
### 3.1.2. Hierarquia do SGA

Para implementar um SGA, é útil primeiro ter noção da hierarquia dos seus elementos. Na **Figura 3.2**, retirada da NP ISO 55002 (2016), é possível observar essa hierarquia, juntamente com a aplicação das cláusulas respetivas da NP ISO 55001 (2016).

Observando esta hierarquia pode-se compreender o alinhamento pretendido entre os vários elementos do SGA, criando o “caminho” desde o que é valorizado pelas partes interessadas, passando essa informação para objetivos organizacionais, que por sua vez ditam o plano estratégico e os objetivos da gestão de ativos e que, por fim, orientam os planos de gestão aplicáveis ao portefólio de ativos. A avaliação de desempenho e análise de melhorias permitem o aperfeiçoamento do SGA e das suas atividades.

A demonstração de como as decisões acerca de ativos são tomadas são uma parte importante da gestão de ativos, pelo que deve ser perceptível o alinhamento entre os vários elementos do SGA para as partes interessadas, internas e externas (ISO 55002, 2018).

Como referem Fernández *et al* (2016), é mais fácil aceitar decisões quando é visível o compromisso entre ganhos de desempenho vs. custos e riscos. Por exemplo, nos serviços públicos, o desempenho da manutenção está ligado à reputação da empresa junto dos clientes, pois a sua eficiência contribui para aumentar o tempo entre falhas e reduzir os tempos de reparação, o que por sua vez melhora a imagem da organização segundo a perceção dos clientes e a probabilidade de o mesmo a escolher como fornecedor.



**Figura 3.2.** Relação entre os elementos-chave de um sistema de gestão de ativos e as cláusulas respetivas da ISO 55001 (2014). As setas representam direções de influência. A cinzento encontra-se o âmbito das atividades do SGA (Retirado da NP ISO 55002 (2016)).

Os elementos do SGA são em seguida descritos em maior detalhe.

## 3.2. Elementos do SGA

### 3.2.1. Contexto da organização e Partes interessadas

O primeiro passo no desenvolvimento do SGA, no qual se baseia todo o alinhamento subsequente, consiste na análise do contexto da organização, ou seja, dos

fatores internos e externos relevantes para a atividade da organização e, em concreto, para os ativos, a gestão de ativos e o SGA.

A ISO 55002 (2018) dá vários exemplos de fatores. A nível interno é assinalado de particular importância os objetivos organizacionais, com os quais os objetivos e o plano estratégico da gestão de ativos devem estar alinhados. A determinação dos objetivos organizacionais também é afetada pelo contexto da organização, mas a sua determinação vai além do âmbito da gestão de ativos, pelo que não é aqui abordada.

Outros fatores internos referidos incluem as capacidades da organização (conhecimento e recursos), políticas adotadas relativas a outras matérias (qualidade, segurança, etc.), o tamanho, complexidade e criticidade dos ativos, entre outros.

A nível externo, a ISO 55002 (2018) dá como exemplo regulamentos, legislações, economia, tecnologia, competição, entre outros.

Um fator, interno e externo, que se destaca e que é requisito particular da ISO 55001 (2014) são as necessidades e expectativas das partes interessadas relevantes para a gestão de ativos, o SGA e os ativos. Tal implica determinar quais são essas partes interessadas e determinar as suas necessidades e expectativas, incluindo os requisitos de informação que deve ser registada e comunicada a essas partes.

No documento IAM (2015) recomenda-se a realização de uma análise do presente e do futuro do contexto da organização, em termos da procura pelos serviços e/ou produtos da organização, capacidades dos ativos e tecnologia, de modo a determinar objetivos a longo termo para o portefólio e adaptar a tomada de decisões em conformidade.

Sendo o ponto de partida da implementação e crucial para a determinação de valor e avaliação de desempenho da gestão de ativos, a definição do contexto e das necessidades e expectativas das partes interessadas devem ser mantidas como informação documentada, com destaque para os compromissos e requisitos obrigatórios (ISO 55002, 2018).

### **3.2.2. Política de Gestão de Ativos**

A política é o documento de base da gestão de ativos, que se pretende que seja uma curta declaração que dê a visão ao nível estratégico de como a organização pretende gerir os seus ativos de modo a atingir os objetivos organizacionais, sem referir ativos

particulares, desse modo servindo de foco para a formulação dos objetivos de gestão de ativos, do nível estratégico ao operacional (ISO 55002, 2018).

É necessário que a política de gestão de ativos esteja alinhada com a análise de contexto realizada, incluindo um compromisso da organização para com o cumprimento de requisitos obrigatórios (legais, contratuais, etc.) e das expectativas das partes interessadas e que seja consistente com outras políticas adotadas pela organização, como gestão de risco, qualidade, entre outras (ISO 55001, 2014).

Deve ser estabelecida pela gestão de topo e demonstrar o seu apoio pela mesma e a gestão de ativos (ISO 55001, 2014), desse modo constituindo uma aplicação do princípio fundamental de liderança, ao representar a intenção da gestão de topo.

A política deve ser disponibilizada no seio da organização e a partes interessadas conforme adequado, como declaração de foco, e incluir uma intenção de melhoria contínua do SGA (ISO 55001, 2014).

### **3.2.3. Plano Estratégico de Gestão de Ativos (PEsGA)**

O Plano Estratégico – ou simplesmente estratégia – de Gestão de Ativos (PEsGA) é o documento que estabelece a implementação dos princípios e da visão definidos na política de gestão de ativos (ISO 55002, 2018).

Em (Hastings, 2015) sugere-se a elaboração do PEsGA seguindo a estrutura da ISO 55001, de modo a facilitar a demonstração de aplicação das cláusulas e, assim, a certificação.

Segundo a ISO 55001 (2014), o PEsGA deve documentar o papel do SGA para atingir os objetivos da gestão de ativos. Para tal, a ISO 55002 (2018) recomenda que o PEsGA documente ou referencie os elementos referidos em seguida, que têm um papel central e afetam o desenvolvimento das outras atividades da gestão de ativos. A disponibilização a nível interno do PEsGA contribui para a clareza do propósito do SGA, fomentando a cultura empresarial em apoio à gestão de ativos.

Para a elaboração do PEsGA deve ser considerado o contexto determinado anteriormente, em particular o plano organizacional e as expectativas, necessidades e identificação das partes interessadas. Sendo o ponto de partida, a documentação do contexto deve fazer parte ou ser referenciada no PEsGA (ISO 55002, 2018).

### 3.2.3.1. Sistematização de tomada de decisões de gestão de ativos

Petchrompo *et al* (2019) dividem as decisões a ser tomadas na gestão de ativos em categorias, cada com os seus desafios e critérios particulares, uma divisão que pode ser útil na sistematização, consistência e transparência da tomada de decisões. As referidas categorias, a título exemplificativo, incluem:

- priorização de ativos – tal envolve análise de criticidade dos ativos, o que inclui avaliação de riscos, na qual existe concordância na eficácia de aplicar critérios mensuráveis relativos à severidade e à probabilidade de ocorrência de falhas nos ativos;
- seleção de ativos – além de custos de capital e operacionais, afeta a produtividade, qualidade, manutibilidade, custos de intervenção e a fiabilidade do sistema;
- política de intervenção – determinação da estratégia de manutenção, incluindo planos de inspeção, manutenção preventiva, quando reparar e quando substituir;
- priorização de projetos de manutenção, reparação e reabilitação – necessária devido à limitação de recursos para estes projetos, implica a conjugação de múltiplos critérios, como segurança de pessoas e bens, segurança funcional, custo, sustentabilidade e reputação;
- agendamento de intervenções – requer gerir os recursos disponíveis (pessoal, equipamentos, etc.) e os tempos de paragem, de modo a minimizar a duração e o impacto das intervenções;
- gestão de peças sobressalentes – implica gestão de inventário, equilibrando custos de encomenda, gestão e armazenamento vs. custos de intervenções nos sistemas, para o que é útil a classificação dos itens de acordo com vários critérios, como criticidade e procura.

Das vantagens que se pretendem obter com a gestão de ativos de acordo com a (ISO 55002, 2018), inclui-se a transparência, consistência e alinhamento na tomada de decisões relacionadas com a gestão de ativos e que essas decisões constituam uma tradução (perceptível) do que é valorizado pelas partes interessadas em atividades da organização sobre os ativos.

Em concordância, é requisito da ISO 55001 (2014) definir e documentar o processo de tomada de decisões, incluindo:

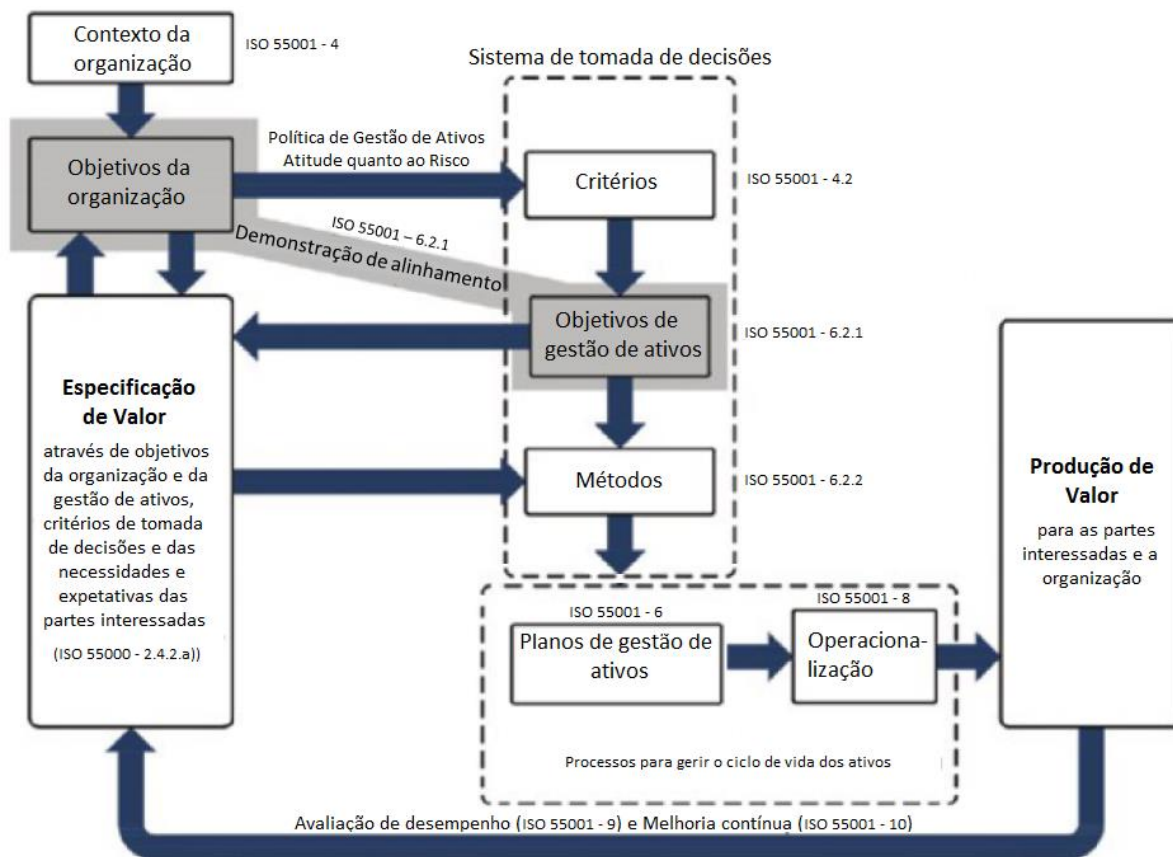
- definição de critérios (qualitativos e/ou quantitativos) para a tomada de decisões, os quais representam o valor dos ativos em concordância com as necessidades e

expectativas das partes interessadas (cláusula 4.2) e, conforme adiciona a ISO 55002 (2018), com a política de gestão de ativos e a atitude quanto ao risco da organização;

- estabelecimento de objetivos de gestão de ativos de acordo com os critérios (cláusula 6.2.1); e
- definição de métodos para responder aos critérios determinados, de modo a proceder à tomada de decisões e priorização de atividades e recursos e, assim, atingir os objetivos de gestão de ativos (cláusula 6.2.2).

A ISO 55001 (2014) não expande sobre este assunto, no entanto, na **Figura 3.3**, retirada da ISO 55002 (2018), representa-se o papel do sistema de tomada de decisões na tradução de critérios em atividades de gestão de ativos para produção de valor, cuja noção do que constitui valor é aperfeiçoada através de avaliação de desempenho e melhoria contínua. De notar que, apesar do foco no valor na definição de gestão de ativos referida na ISO 55000 (2014), a ISO 55001 (2014) não inclui esse termo em qualquer cláusula, tendo-se optado pela referência a “critérios” das partes interessadas, o que ajuda a evitar confusão com o termo “custo”, distinção feita anteriormente em 2.1.3.

De entre os possíveis critérios, desde logo se destaca a necessidade de critérios relacionados com riscos, desempenho e custos que, pelo referido no ponto 2.2.2, são sempre do interesse da organização e devem ser equilibrados para alcançar a otimização do valor dos ativos.



**Figura 3.3.** Enquadramento do sistema de tomada de decisões na tradução de valor, com referência às cláusulas respetivas da ISO 55001 (2014) e da ISO 55000 (2014) (Traduzido e adaptado da ISO 55002 (2018)).

A ISO 55001 não dita quais devem ser os critérios nem os métodos para a sua avaliação. A título exemplificativo, na ISO 55002 (2018) refere-se a OEE e o impacto ambiental, entre outros, para o desempenho (ao nível do ativo e/ou do sistema) e para análise de risco refere a FMECA e remete para a IEC 31010 para outras técnicas.

No documento IAM (2015) refere-se a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Valor Atual Líquido (VAL) e o Período de Retorno do Capital (PRC) como os critérios mais usados no Cálculo de Custos de Ciclo de Vida (LCC – *Life Cycle Costing*) na comparação de investimentos. Roda *et al* (2015) sugerem para o LCC a elaboração de uma estrutura de custos para cada opção contendo custos de capital e operacionais, incluindo custos derivados à perda de desempenho do ativo ou sistema, isto é, considerando custos derivados a potenciais falhas do ativo (ponderados de acordo com o grau de incerteza desses riscos), os quais incluem custos por paragem para manutenção corretiva, custos por redução de velocidade de operação, custos de falta de qualidade, custos com recursos despendidos em manutenção corretiva, bem como custos imputados

por terceiros devido a essa perda de desempenho, como custos com quebra de garantia, indenizações ou outras penalizações.

No documento IAM (2015) refere-se ainda a aplicação na gestão de ativos de metodologias e ferramentas estabelecidas na técnica como métodos para assistir à priorização de atividades de manutenção, como a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM – *Reliability Centred Maintenance*), a Manutenção Baseada no Risco (RBM – *Risk Based Maintenance*) ou a Manutenção Baseada na Condição (CBM – *Condition Based Maintenance*).

Individualmente as ferramentas mencionadas apenas permitem incluir e avaliar um ou mais critérios pré-definidos, o que em alguns planos de gestão de ativos pode ser suficiente. No entanto, o ponto essencial que ao mesmo tempo define e dificulta a tomada de decisões da gestão de ativos é a intenção de conciliar múltiplos critérios de partes interessadas diferentes, por vezes em conflito, relativos a temas diferentes e/ou incomensuráveis, como por exemplo desempenho, fiabilidade, custos operacionais, custos de capital, visão a curto-prazo e longo-prazo, impacto ambiental ou benefício para os clientes (IAM, 2015).

Catrinu *et al* (2010) referem que o sucesso de metodologias de análise multicritério depende da capacidade de peritos em análise de decisões e de riscos ou na aceitação e acessibilidade da metodologia por utilizadores não-peritos, em que é vital a qualidade da informação utilizada.

Petchrompo *et al* (2019) fazem uma análise dos métodos de decisão para conjugar múltiplos critérios, comumente utilizados na gestão de ativos. Destes, o método mais simples e mais conhecido é a soma ponderada, o qual passa pela comparação entre critérios, atribuição de um peso a cada critério e, após a avaliação de cada alternativa segundo cada critério (usando por exemplo lógica *fuzzy* para critérios difíceis de quantificar), pela subsequente soma ponderada de acordo com o peso dos critérios para obter a avaliação global de cada alternativa. Conforme referido por Lima *et al* (2019), a comparação e atribuição de peso aos critérios tem o defeito inerente de introduzir subjetividade no processo – ainda mais complicado quando há um grande número de critérios a comparar –, mas inevitável para o problema. Tal pode ser melhorado, como sugerem Lima *et al* (2019), usando a média das opiniões de vários peritos da organização e/ou de partes interessadas externas, no entanto métodos avançados são necessários para tentar eliminar a subjetividade.

Um outro método para a tomada de decisões com múltiplos critérios, bastante usado na gestão de ativos segundo Petchrompo *et al* (2019) e Brunelli (2015), é o Processo Analítico de Hierarquia (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido por Thomas Saaty nos anos 70. Neste método, descrito por exemplo por Mu *et al* (2018), o peso relativo dos critérios é extrapolado comparando a preferência pelos mesmos dois a dois, isto é, questionando a importância que se lhe é dada. O processo pode depois ser continuado para determinar a preferência por resoluções para um determinado problema, também através de comparações dois a dois, critério a critério, e depois extrapolando os resultados para definir uma preferência geral englobando todos os critérios. A coerência do processo é verificada através de análise de consistência das comparações, reavaliação se necessário e análise da sensibilidade.

Conforme descrito por Mu *et al* (2018), o AHP pode ser modificado para combinar as opiniões de várias partes interessadas, inclusive de partes com interesses que podem estar em conflito, até porque os critérios podem ser diferentes, desde que as alternativas sejam iguais. O AHP possui algumas desvantagens, conforme refere Brunelli (2015), principalmente o facto de poder perder a consistência quando são adicionadas ou retiradas alternativas, no entanto não deixa de ser bastante usado para fornecer uma imagem mais nítida dos pesos relativos dos critérios. Outros benefícios incluem: fácil recolha das opiniões das partes, ao apenas apresentar critérios e alternativas dois a dois; aceita critérios quantificáveis e incomensuráveis; é intuitivo e pouco complexo matematicamente; e é bastante compreensivo na apresentação de resultados, desse modo facilitando o entendimento entre as partes interessadas, como é necessário para a gestão de ativos.

Existem outros métodos na técnica, mais ou menos complexos, para determinar a priorização de alternativas, de acordo com as preferências das partes envolvidas. Não são necessariamente úteis quando o objetivo é a otimização com múltiplos objetivos, para tal devem ser procurados métodos determinísticos ou estocásticos de otimização, por exemplo, segundo Petchrompo *et al* (2019), programação linear, algoritmos genéticos ou redes neuronais.

Conforme referem Catrinu *et al* (2010), estas metodologias de análise multicritério não são necessariamente um método semiautomático de obter a solução ideal, mas ajudam a obter um melhor entendimento em problemas complexos e a compreender os compromissos entre alternativas. Como referido por Petchrompo *et al* (2019), usar estas metodologias pode tornar-se uma tarefa onerosa, pelo que, conforme

também referido na ISO 55002 (2018), é conveniente iniciar o processo de tomada de uma decisão com a ponderação da criticidade e do impacto da mesma nos objetivos vs. a exatidão necessária para obter a solução ótima, antes de escolher a metodologia a aplicar.

### 3.2.3.2. Objetivos da gestão de ativos

Como refere a ISO 55001 (2014), os objetivos da gestão de ativos devem ser estabelecidos utilizando os critérios de tomada de decisões da gestão de ativos e deve ser esclarecido porque é que estão alinhados com os objetivos organizacionais. Devem também ter em consideração o contexto presente e futuro e os objetivos da organização para outras áreas, como segurança, política ambiental, etc. Em IAM (2015) recomenda-se que, quando possível, os objetivos devem ser específicos, mensuráveis, alcançáveis e com prazo definido e, conforme é requisito na ISO 55001 (2014), devem ser comunicados às partes interessadas relevantes.

A ISO 55001 (2014) apenas faz referência a “objetivos de gestão de ativos”, o que lhe confere um âmbito alargado e inclui organizações com poucos objetivos, sem necessidade de hierarquização. No entanto, a ISO 55002 (2018) recomenda a elaboração de objetivos da gestão de ativos ao nível estratégico, os quais devem estar expressos no PEsGA. Os objetivos estratégicos, quantitativos e/ou qualitativos, ditam o planeamento ao nível do portefólio de ativos e, dependendo da hierarquia estabelecida no portefólio, ditam depois os objetivos de gestão ao nível de sistema e depois até ao nível de objetivos de gestão de ativos individuais. Este encadeamento facilita a perceção do alinhamento desde os objetivos organizacionais.

### 3.2.3.3. Planos contido no PEsGA

O planeamento para atingir os objetivos da gestão de ativos deve estar integrado e ser consistente com outras funções da organização que sejam pertinentes, como financeira e recursos humanos.

O PEsGA inclui o plano dirigido ao portefólio de ativos abrangido pelo SGA, a partir do qual são desenvolvidos os restantes planos de gestão aplicados aos ativos. Como os restantes planos, deve incluir análise de riscos e oportunidades e a sua escala temporal deve ser consistente com os objetivos estratégicos da gestão de ativos.

Inclui também o plano de desenvolvimento dos elementos e processos do SGA, o qual deve incluir a descrição do seu funcionamento, pelo que será o documento

apropriado para indicar também os papéis e responsabilidades das várias partes interessadas relacionadas com as atividades de gestão de ativos (ISO 55002, 2018). É requisito da ISO 55001 (2014) implementar ações para identificar e lidar com riscos e oportunidades do funcionamento do SGA, incluindo, por exemplo, conflitos de recursos, falhas de comunicação entre departamentos, falhas no sistema de informação, etc.

Esta perspectiva ao nível estratégico, em conjugação com a informação proveniente dos planos de gestão de ativos, permite elaborar o plano financeiro para a gestão de ativos e ter uma ideia das necessidades de outros recursos e competências a curto e longo termo, pelo que é uma ferramenta útil para a gestão de topo e possivelmente algumas partes interessadas externas (ISO 55002, 2018). Retroativamente, conforme IAM (2015), o plano financeiro pode revelar uma necessidade em adquirir ou melhorar ativos, para atingir os objetivos da gestão de ativos, ou em alternativa alterar preços de venda ou implementar medidas para influenciar a procura pelos serviços ou produtos da organização.

#### 3.2.3.4. Âmbito do SGA

Tendo em conta os requisitos derivados do contexto da organização, das necessidades e expectativas das partes interessadas e o PEsGA, a organização tem de definir e documentar o âmbito do SGA (ISO 55001, 2014). A correta definição do âmbito é necessária para obter a garantia de que os recursos da gestão de ativos são direcionados para atingir os seus objetivos.

O âmbito implica definir o portefólio de ativos necessários para atingir os fins do SGA. Para tal é necessário ter em conta e documentar as ligações funcionais entre ativos e a relevância da inclusão dos ativos selecionados para o contexto e os objetivos da organização (ISO 55002, 2018). Poderá também resultar numa descrição das capacidades, desafios, riscos e oportunidades, tendo em conta a procura futura, do portefólio.

A definição do âmbito também inclui identificar as atividades, os limites e interações das atividades do SGA em relação a outras funções ou sistemas de gestão da organização (ISO 55001, 2014), como por exemplo, aqueles em que pode ocorrer conflitos e trabalho repetido, como com a gestão de qualidade, ou outras funções da organização necessárias mas transcendentemente à gestão de ativos, como recursos humanos ou tecnologias de informação e comunicação.

### 3.2.4. Planos de gestão de ativos

Estabelecido o plano estratégico, é então necessário proceder ao planeamento de atividades para alcançar os objetivos da gestão de ativos. Os planos devem estar alinhados com a política de gestão de ativos e o PEsGA e cumprir outros requisitos externos ao SGA. Devem também estar coordenados com outras funções da organização, incluindo financeira, recursos humanos, entre outras.

São planos que a organização desenvolve para as várias fases do ciclo de vida dos ativos (conceção, utilização, manutenção, desativação, etc.), incluindo, de acordo com a ISO 55001 (2014), definição de: atividades, recursos, responsabilidades, prazos e outros objetivos específicos e avaliáveis, implicações financeiras e não-financeiras desses planos, a periodicidade da sua revisão e ações para lidar com riscos e oportunidades.

No ponto 3.2.3.1 já se referiram várias ferramentas úteis nas várias fases do ciclo de vida, como os parâmetros para análise LCC e as metodologias para priorização de atividades de manutenção, como a RCM e a RBM.

As ações para lidar com riscos – ameaças e oportunidades – a incluir no planeamento relacionado com os ativos e com o próprio SGA, pretendem garantir que os objetivos da gestão de ativos não são comprometidos, prevenir ou reduzir efeitos indesejáveis e promover a melhoria contínua (ISO 55001, 2014), permitindo a priorização de atividades com gestão do risco a que a organização está exposta. Para tal, a ISO 55001 (2014) refere as seguintes atividades na elaboração de planos de gestão de ativos: identificar e avaliar ameaças e oportunidades, incluindo a sua criticidade; determinar a criticidade dos ativos para os objetivos de gestão de ativos (o que inclui o impacto nas partes interessadas); implementar monitorização e tratamento dos riscos e oportunidades identificados; ter em conta que os riscos e oportunidades podem evoluir ao longo do tempo. As metodologias para tal podem fazer parte da sistematização de tomada de decisões, referida em 3.2.3.1, de modo a uniformizar a abordagem.

Antes da elaboração de planos, é necessário analisar a criticidade dos ativos e dos riscos que lhes estão associados (ver definição de ativos críticos em 2.1.3), através de representação, por exemplo, por uma matriz de risco (Loyd, 2010).

Tal começa pela determinação da configuração do portefólio e dos sistemas que o compõem e as dependências que existem entre ativos. Em relação à configuração, Petchrompo *et al* (2019) referem sistemas com ativos em série, paralelo, com

funcionamento mínimo de  $k$  elementos num total de  $N$  do sistema ou em rede sem definição concreta. Ainda segundo Petchrompo *et al* (2019) definem-se vários tipos de dependência em sistemas com múltiplos ativos: a nível de desempenho, em que uma intervenção, deterioração ou a falha de um ativo influencia o desempenho de outros componentes e de todo o sistema; estocástica, em que a falha de um ativo influencia a probabilidade de falha de outros; e, em termos de recursos, incluindo orçamento, pessoas e equipamento de trabalho, peças sobressalentes, entre outros, que obviamente são em número finito e que são partilhados pelos ativos e têm de ser priorizados.

Para a sistematização da análise de riscos, a ISO 55002 (2018) refere a possibilidade de integração da ISO 31000 – “Gestão do risco – Linhas de Orientação” e da utilização das técnicas da já referida IEC 31010 para a gestão e avaliação do risco. Na ISO 55002 (2018) recomenda-se a criação de planos de resposta de emergência e de continuidade de atividade para riscos identificados que não podem ser controlados, de modo a mitigar o impacto desses eventos.

Lidar com ameaças e oportunidades requer, entre outros, o controlo da condição dos ativos durante o seu período de vida útil. Conforme referem de la Fuente *et al* (2018), tal auxilia a tomada de decisões ao identificar a necessidade de atividades de manutenção preventivas, minimizar atividades de manutenção corretiva, aumentar a fiabilidade, reduzir a deterioração de outros ativos e a atualizar modelos de deterioração dos ativos.

A ISO 55002 (2018) recomenda também a consulta de normas e especificações técnicas, da ISO e de outros organismos, para instruções específicas quanto a requisitos e atividades.

Para facilitar o alinhamento entre os níveis estratégico, tático e operacional em organizações ou portefólios mais complexos, segundo a ISO 55002 (2018), podem ser elaborados planos a vários níveis, por exemplo, grupos de sistemas (agrupados devido à sua geografia ou outros motivos), sistemas e, por fim, ativos individuais. Neste caso, a ISO 55002 (2018) recomenda a definição desta hierarquia no PEsGA, incluindo informação pertinente, como que ativos compõem cada sistema, a criticidade e os objetivos em cada nível, entre outros. Segundo Loyd (2010), este modo de planeamento na gestão de ativos produz melhores resultados do que começar a abordagem com uma divisão de ativos pelo seu tipo. Os especialistas num tipo de ativo deverão contribuir ao nível horizontal, na fase final da decisão, para adequar os planos de gestão de ativos individuais ao seu contexto funcional.

Após elaboração dos planos, os mesmos devem ser priorizados usando o sistema de tomada de decisões definido no PEsGA, coordenando os recursos disponíveis (ISO 55002, 2018).

### **3.2.5. Elementos e Atividades de Apoio do SGA**

Os seguintes elementos constituem fatores com menos visibilidade no SGA, mas cujo controlo é fundamental para garantir o sucesso da gestão de ativos, pelo que fazem parte de vários dos requisitos da ISO 55001 (2014).

#### **3.2.5.1. Cultura empresarial**

Como referido nos princípios fundamentais da gestão de ativos em 2.2.1, é necessário estabelecer a filosofia da gestão de ativos na cultura empresarial da organização, para que a mesma seja eficaz e eficiente. Loyd (2010) refere que o fator humano é mais importante do que as soluções técnicas para o sucesso da gestão de ativos e para impedir o retorno aos comportamentos desalinhados.

Tal começa pela gestão de topo, cujo apoio, motivação, liderança e compromisso são necessários para que a gestão de ativos quebre barreiras departamentais para combinar perspetivas diferentes ao longo do ciclo de vida dos ativos (Márquez *et al*, 2020a). Para tal, deve disponibilizar meios e atribuir responsabilidades e autoridades para garantir que o SGA é implementado como pretendido, ou seja, que atinge os seus objetivos e que o alinhamento é mantido desde os objetivos organizacionais até às atividades desenvolvidas, e deve também fomentar atividades de melhoria e a integração da gestão de ativos com outras áreas funcionais da organização (ISO 55001, 2014).

Ao nível dos restantes colaboradores, é necessário promover a consciencialização quanto à gestão de ativos e ao papel que as pessoas envolvidas têm. Para tal, de acordo com a ISO 55001 (2014), é necessário que as pessoas sob o controlo da organização relevantes para a gestão de ativos, o SGA e os ativos: conheçam a política de gestão de ativos; percebam o funcionamento do SGA e estejam conscientes do seu contributo; tenham consciência das implicações de se negligenciar a gestão de ativos, conforme planeada; e que tenham consciência dos riscos e oportunidades associados às atividades em que estão envolvidas. A ISO 55002 (2018) refere a realização de divulgações, discussões e formação para tal.

Em IAM (2015) refere-se que a estrutura da organização também é determinante para a implementação da filosofia da gestão de ativos na cultura empresarial e para o funcionamento do SGA como planejado, pois influencia a percepção do foco/alinhamento pelas pessoas, a eficiência dos fluxos de informação e a importância dada às várias atividades (exemplo, operação e manutenção).

### 3.2.5.2. Interação com partes interessadas externas

A organização deve definir as necessidades de comunicação com as partes interessadas externas relevantes para a gestão de ativos, o SGA e os ativos (ISO 5501, 2014), conforme já referido em 3.2.1 na análise de contexto. Essas necessidades, de acordo com a ISO 55001 (2014), incluem alguns dos elementos do SGA aqui referidos, incluindo a política de gestão de ativos, o PEsGA, os objetivos da gestão de ativos, planos de gestão de ativos e resultados de avaliação de desempenho do SGA e dos ativos. Quais e quando são comunicados varia conforme essas partes interessadas, mas devem sê-lo de modo a que essas partes compreendam as decisões tomadas e as suas implicações em termos de custos, riscos e desempenho, a curto e longo prazo, com consideração pelo seu nível de entendimento técnico e pelos seus valores (Loyd, 2010).

A ISO 55002 (2018) recomenda que sejam feitas avaliações do nível de serviço junto de clientes para determinação das suas expectativas e, no espírito da transparência, sugere também a informação e a discussão relativamente a decisões importantes que os possam afetar.

Em IAM (2015) refere-se que, em relação a fornecedores externos, especialmente os fornecedores de serviços a quem é feita a delegação de atividades e responsabilidades de gestão dos ativos incluídas no âmbito do SGA, é importante definir como é que o seu desempenho pode afetar o valor dos ativos, determinar objetivos para os fornecedores e determinar como incentivar os fornecedores para cumprir esses objetivos e diminuir o risco de falha de fornecimento.

A comunicação com as partes interessadas permite à organização demonstrar o alinhamento das suas atividades e, assim, melhorar a sua reputação.

### 3.2.5.3. Recursos

É necessário que a organização determine os recursos necessários para garantir o desenvolvimento e implementação do SGA e das atividades dos planos de gestão de gestão (ISO 55001, 2014).

De acordo com a ISO 55002 (2018), deve fazer parte do âmbito do SGA determinar as lacunas entre os recursos necessários e os disponíveis e usar essa informação para o planejamento de utilização dos recursos disponíveis e a priorização de atividades de gestão de ativos, usando o sistema de tomada de decisões. Também poderá servir para a análise de hipóteses de melhoria contínua, incluindo o aumento dos recursos ou de alternativas de gestão, e para determinar se há necessidade de recorrer a fornecedores de serviços externos.

Um recurso da organização destacado nas ISO 5500x são os recursos humanos. Além da criação da cultura empresarial referida em 3.2.5.1, para as pessoas que trabalham sobre o controle da organização e que podem afetar o desempenho do SGA e dos ativos, é requisito determinar, garantir e documentar as competências necessárias, incluindo conhecimento, técnicas e experiência. De acordo com a ISO 55002 (2018), tal pode incluir avaliações, formação, planos de tutoria para garantir a passagem de conhecimento, entre outros. As competências necessárias devem ser revistas periodicamente, especialmente quando há introdução de nova tecnologia nos ativos ou no SGA, e deve ser promovida a continuidade de conhecimento da organização (ISO 55002, 2018).

### 3.2.5.4. Informação e Documentação

A informação útil referente aos ativos e à gestão de ativos é essencial para a tomada de decisões na gestão de ativos (Roda *et al*, 2018), pelo que é necessária a adoção de tecnologias e sistemas de informação. A informação também é útil para a elaboração e implementação de planos, avaliação de desempenho, entre outras atividades, inclusive de e para outras áreas da organização, e, por conseguinte, é um elemento essencial para garantir que a gestão de ativos atinge os seus objetivos.

A ISO 55002 (2018) sugere que a informação deve ser gerida como um ativo parte do SGA – um ativo intangível – e, como tal, deve ser determinado o seu valor. Nesse sentido, a ISO 55002 (2018) recomenda que se compare o valor que a informação apresenta para a organização, incluindo a sua criticidade e a criticidade do(s) ativo(s) a

que diz respeito, com o custo e complexidade em obter, processar, gerir e sustentar essa informação.

Conforme a ISO 55001 (2014) refere, é necessário determinar os requisitos de informação documentada necessários às atividades da gestão de ativos de modo a concretizar os objetivos definidos, incluindo informação específica para responder aos requisitos legais, regulatórios e às necessidades das partes interessadas. A sua pertinência deve ser avaliada periodicamente de modo a acompanhar a melhoria contínua e a evolução do contexto da organização, garantindo que a organização gasta recursos para obter apenas informação útil e que é capaz de tratar e utilizar, desse modo otimizando a gestão de informação (Campos *et al*, 2017).

Em relação ao próprio SGA, como já referido nos pontos anteriores, alguma da informação relativa ao seu funcionamento, como a política de gestão de ativos e o PEsGA, deve ser disponibilizada interna e externamente a partes interessadas pertinentes.

Ao nível dos ativos individuais e dos sistemas que fazem parte do âmbito do SGA, Hastings (2015) refere alguma informação necessária, como exemplo: identificação interna, atributos (modelo, nº de série, idade, características técnicas, etc.), localização, dependências, desempenho, nível de utilização, fiabilidade, condição, histórico de eventos e trabalhos sobre o mesmo, desenhos e fotografias, tipo de ativo conforme definições dentro da organização, manuais, custos, normas pertinentes, etc. Esta informação pode ser gerida usando sistemas de informação, conforme refere a ISO-TS 55010 (2019).

Um advento recente que contribui para a geração e transmissão de informação na gestão de ativos, como referido por Palau *et al* (2019), é a proliferação da Internet das Coisas (IoT – “*Internet of Things*”) na indústria, em que os próprios ativos receberam capacidades de aquisição, processamento e comunicação de dados e informação. Tal permite a monitorização contínua e individual de parâmetros de produtividade e/ou saúde de cada ativo, com benefícios ao nível dos ativos individuais, como a CBM e a análise de desempenho, e em alguns casos ao nível dos sistemas de ativos, ao facilitar a flexibilidade das operações. Como referem ainda Palau *et al* (2019), também permite a aquisição automatizada de informação e a elaboração de um histórico individual e coletivo, possibilitando a automatização de modelos de fiabilidade e de previsão de falha das organizações, adaptados às condições operacionais.

Devido à necessidade de informação para a gestão de ativos, a organização deve determinar e controlar a criação, atualização e armazenamento de informação, deve assegurar que está disponível quando e onde necessário e deve proteger a informação contra perda de confidencialidade, integridade, utilização indevida, etc. (ISO 55001, 2014).

### **3.2.6. Operacionalização do SGA**

A implementação das atividades do SGA e dos planos de gestão de ativos, de acordo com a ISO 55001 (2014), deve ser controlada, de modo a garantir que as decisões tomadas são implementadas como determinado, os planos e os objetivos são cumpridos e as ações determinadas para tratar riscos e oportunidades definidas na fase de planeamento são realizadas. A evidência da implementação deve ficar documentada.

Quando existe necessidade de introduzir alterações, temporárias ou permanentes, no SGA ou nos ativos, incluindo desvios ao sistema de tomada de decisões, deve ser realizada gestão de mudanças. Para tal, previamente devem ser avaliados os riscos e outras consequências dessas mudanças para os objetivos da gestão de ativos (ISO 55001, 2014) – em consistência com o modo de agir face ao risco noutras atividades do SGA –, incluindo possíveis alterações à criticidade dos ativos e o modo como são afetadas outras atividades da organização. Na ISO 55002 (2018) sugere-se a formalização de um plano de controlo de mudanças, incluindo adicionalmente: definição de responsabilidades de aprovação, argumentação para as mudanças, duração das mudanças, análise de cumprimento de requisitos e comunicação às partes interessadas relevantes. Tal contribui para a transparência perante as partes interessadas. Com estas ações procura-se garantir a eficácia das ações das mudanças.

Quando a organização decide subcontratar atividades de gestão de ativos, deve avaliar os riscos associados a essa decisão e essas atividades devem ser controladas, impondo requisitos de garantia e validação de execução, e o seu desempenho deve ser avaliado, de modo a obter uma garantia de implementação tal como ocorre para outras atividades e ativos da organização (ISO 55001, 2014). Adicionalmente, deve ficar documentado como essas atividades interagem com o SGA, definindo discretamente responsabilidades, liberdades para tomar decisões, a informação necessária de ser comunicada em ambos os sentidos e as competências necessárias do fornecedor de serviços, das quais a organização deve procurar garantias (ISO 55002, 2018).

Dependendo do contrato e da definição de responsabilidades, a organização e/ou o fornecedor de serviços podem ter a liberdade para atingir a certificação de acordo com a ISO 55001.

### **3.2.7. Avaliação de desempenho**

A ISO 55001 (2014) refere que deve ser avaliado o desempenho dos ativos, do SGA e da própria gestão de ativos – incluindo ativos e atividades geridos através de subcontratação.

Em termos de o que deve ser alvo de avaliação, tal deve responder às necessidades e expectativas das partes interessadas, aos requisitos legais e contratuais obrigatórios e aos objetivos organizacionais e da gestão de ativos (ISO 55002, 2018).

Em relação aos ativos, em IAM (2015) recomenda-se que, além de individualmente, deve ser avaliado o desempenho ao nível do sistema, de modo a aferir se os ativos têm o valor esperado, isto é, se têm a condição e a capacidade para executar as suas funções conforme pretendido. Deve-se estabelecer processos para monitorização e medição de parâmetros e a sua análise e avaliação, definindo o quê, como e quando deve ser alvo desses processos (ISO 55001, 2014), o que irá dever responder principalmente aos objetivos da gestão de ativos. Roda *et al* (2015) referem a OEE como um indicador de desempenho bastante usado na indústria.

Ao nível do SGA, o desempenho é avaliado com intuito de determinar se é eficaz e eficiente na implementação da gestão de ativos, se está alinhado com a política de gestão de ativos e se cumpre os objetivos estratégicos da gestão de ativos (ISO 55000, 2014). Para tal também deve ser definido o quê, como e quando deve ser medido e avaliado, de modo a avaliar a adequabilidade dos elementos do SGA, incluindo a política de gestão de ativos, os critérios e processos de tomada de decisões, o desempenho dos planos de gestão de ativos e a eficácia e eficiência das ações determinadas para lidar com riscos e oportunidades (ISO 55002, 2018).

A ISO 55002 (2018), além da utilização de medições técnicas de desempenho, refere a análise do nível de satisfação dos clientes, de forma a determinar o alinhamento com as suas necessidades e expectativas.

Adicionalmente, a organização deve planear e realizar auditorias internas periódicas ao SGA, com o intuito de estabelecer uma visão objetiva e imparcial em relação à sua conformidade com a ISO 55001 e com os objetivos da própria organização

para o SGA e se o SGA é operacionalizado como planejado (ISO 55001, 2014). A ISO 55002 (2018) recomenda usar as orientações da ISO 19011 “Linhas de orientação para auditorias a sistemas de gestão” para as auditorias.

A própria gestão de topo deve rever o SGA periodicamente para garantir a sua pertinência e eficácia em atingir os objetivos da organização e em responder às necessidades e expectativas das partes interessadas. Para tal deve considerar alterações ao contexto da organização, aos elementos do SGA e aos ativos e deve analisar os resultados de monitorização e medição e das auditorias internas (ISO 55001, 2014).

Conforme refere a ISO 55002 (2018), a análise de desempenho cumpre vários propósitos:

- estabelece as capacidades e eficácia atuais do portefólio de ativos e do SGA, desse modo auxiliando a definição de objetivos realistas;
- é um contributo essencial para as necessidades de melhoria contínua e atualização de referências de desempenho; e
- serve de garantia que a organização está a controlar os aspetos que podem comprometer o valor dos ativos ou o cumprimento dos objetivos da gestão de ativos.

Como tal, a informação de avaliação de desempenho referida tem de estar documentada e ser mantida como evidência de resultados (ISO 55001, 2014).

### **3.2.8. Melhoria contínua**

A melhoria contínua é um processo com vista a aumentar o valor da gestão de ativos, do SGA e dos ativos. A ISO 55001 (2014) refere dois pontos de partida para a melhoria contínua.

O primeiro ponto referido na ISO 55001 (2014) é a correção de não-conformidades. A deteção de não-conformidades e incidentes relacionados com o SGA ou os ativos deve dar origem a análise dos mesmos, de modo a determinar se existem alterações rentáveis (face ao risco das não-conformidades) ao SGA ou aos ativos para os prevenir ou mitigar. Os incidentes, suas causas, ações corretivas e seus resultados devem ser documentados para referência futura. O mesmo se deve aplicar quando se identificam novas falhas potenciais (riscos) não delineadas nos planos de gestão de ativos. Para a análise de não-conformidades nos ativos, a ISO 55002 (2018) sugere a orientação das

metodologias da IEC 62740 - “Análise de Causa Raiz” e da IEC 62508 - “Guia dos aspetos humanos na dependabilidade”.

O segundo ponto é a procura proactiva de melhoria contínua da adequação e eficácia da gestão de ativos e do SGA (ISO 55001, 2014). Para melhoria de adequação, a ISO 55001 (2014) refere revisões e atualizações periódicas ao contexto da organização, incluindo às necessidades das partes interessadas, aos objetivos da organização e às capacidades do portefólio de ativos, de modo a determinar alterações necessárias aos elementos do SGA referidos anteriormente que também devem ser alvo de revisões periódicas por si só. As hipóteses de melhoria de eficácias surgirão principalmente da procura de oportunidades após as avaliações de desempenho referidas em 3.2.7.

As alterações a introduzir devem ser alvo da gestão de mudanças referida anteriormente em 3.2.6 e a sua eficácia deve ser avaliada.

### **3.3. Análise de alternativas de Gestão de Ativos físicos**

É conveniente analisar as alternativas à Gestão de Ativos conforme as ISO 5500x para responder aos objetivos da organização.

Começando por resumir algumas das principais características da gestão de ativos segundo as ISO 5500x identificadas acima:

- visibilidade dos interesses das partes interessadas, internas e externas, relacionados com a atividade da organização;
- tradução de interesses, através de sistematização de tomada de decisões, em atividades sobre os ativos, incluindo planeamento e priorização de atividades, de modo transparente e consistente;
- orientação para todo o ciclo de vida dos ativos;
- identificação e controlo de riscos, incluindo ameaças e oportunidades;
- controlo de execução e desempenho de atividades sobre os ativos;
- controlo de elementos adicionais necessários às atividades sobre os ativos, incluindo recursos, competências, cultura empresarial, comunicação interna e externa, informação e documentação;
- procura pela melhoria contínua;
- coordenação de todas as atividades anteriores, envolvendo todas as funções e da organização, incluindo a gestão de topo, e diversas disciplinas (técnica,

segurança, financeira, etc.) que possuem um papel que afeta as atividades sobre os ativos, através de alinhamento segundo a mesma estratégia.

É difícil definir as alternativas à Gestão de Ativos, uma vez que possui um âmbito indefinido e pode ser adaptada a várias estratégias da organização. A isso contribui o seu caráter genérico com ausência de diretrizes específicas, pelo que a Gestão de Ativos pode ser vista mais como uma ferramenta estratégica ou tática (Konstantakos *et al*, 2019).

Começando pelo nível estratégico, faz-se a pergunta: que alternativas existem para alinhar atividades sobre todo o ciclo de vida dos ativos e integrá-las no plano organizacional?

Por exemplo, uma ferramenta para traduzir os valores dos clientes e o plano organizacional em objetivos concretos são os Indicadores Balanceados de Desempenho (BSC – *Balanced Scorecard*). Conforme descrito por Niven (2014), o BSC é uma ferramenta em que se defende que para concretizar a estratégia e visão de uma organização é necessário traduzir a mesma em quatro perspectivas, conforme o modelo da **Figura 3.4**: financeira, clientes, processos internos e aprendizagem e crescimento. Em cada perspectiva são definidos objetivos, o que vai ser medido para determinar o sucesso na sua concretização, KPI e as táticas que serão aplicadas para atingir os objetivos. Apesar da divisão, as várias perspectivas estão interligadas através dos seus objetivos.



**Figura 3.4.** Perspectivas do BSC (Traduzido (Niven, 2014)).

Através da perspectiva de processos internos do BSC, a organização pode explicitar a necessidade de atividades sobre os ativos, definir objetivos e monitorizar a sua concretização, tal como na gestão de ativos. No entanto, é uma ferramenta principalmente

estratégica, pelo que o processo de determinação de táticas a implementar é ulterior ao BSC.

Seguindo outras técnicas, a organização pode querer focar-se na qualidade, por exemplo seguindo a metodologia 6-sigma, ou focar-se em eliminar os desperdícios dos seus processos, aplicando a metodologia *lean* à produção e/ou à manutenção.

As metodologias referidas não excluem necessariamente a gestão de ativos, a qual pode servir para o seu enquadramento, como referido em IAM (2015), fazendo a transição do nível estratégico para o tático de atividades sobre os ativos. Por exemplo, o BSC pode ser utilizado para demonstrar a ligação entre o plano organizacional e o PEsGA e as metodologias 6-sigma e *lean* podem ser usadas para definir objetivos estratégicos para o SGA e, em sentido inverso, o SGA pode servir para detetar oportunidades de melhoria (ver **Figura 3.5**).



**Figura 3.5.** Exemplo de enquadramento da gestão de ativos com as suas alternativas no plano organizacional.

Em relação ao nível tático, existem várias ferramentas, algumas já referidas anteriormente, para determinar e priorizar atividades ao longo do ciclo de vida bastante difundidas na técnica, como descritas por Mobley *et al* (2008) e Hastings (2015), motivo pelo qual não serão aqui descritas. Estas incluem: na fase de projeto a análise de Fiabilidade, Disponibilidade e Manutibilidade e a LCC; na avaliação de risco existe a FMECA; no planeamento de atividades de manutenção existe a RCM, a RBM e a CBM; etc.

Estas ferramentas partilham características com os requisitos da gestão de ativos, por exemplo, quando na ISO 55001 (2014) na cláusula 6.2.2 se refere que a organização

deve estabelecer processos para “implementação do tratamento e monitorização apropriados de riscos”, tal é bastante semelhante à definição de RBM ou do objetivo da CBM, descritos por exemplo por Mobley *et al* (2008). As ISO 5500x não têm como objetivo excluir essas técnicas, inclusivamente porque em nenhuma se detalha como é que esses processos e atividades devem ser realizados. De facto, a própria ISO 55002 (2018) direciona os utilizadores para essas e outras ferramentas já concretamente definidas, estudadas e comprovadas na técnica, as quais facilitarão o esforço da organização ou que até já as utiliza. Assim, a diferença destas ferramentas relativamente à Gestão de Ativos não é em relação às atividades em si – a adição da Gestão de Ativos está no esforço adicional de coordenação. Na **Figura 3.5** demonstra-se um exemplo de enquadramento da Gestão de Ativos com as ferramentas mencionadas no plano organizacional.

Uma ferramenta bastante popular que vai além do departamento de manutenção é a Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*). De acordo com Mobley *et al* (2008), com a TPM pretende-se a melhoria contínua da OEE dos equipamentos, ou seja, conforme a sua fórmula, maximizar a disponibilidade, o desempenho e a qualidade do produzido. Para tal, estabelece-se um sistema de manutenção que envolve todo o ciclo de vida dos equipamentos e todos os colaboradores envolvidos com o planeamento, operação e manutenção dos equipamentos, entre outros: inclusão de ponto de vista da manutenção na fase de conceção; realização autónoma de tarefas básicas de manutenção e inspeção de rotina pelos próprios operadores, que, familiarizados com os equipamentos, rapidamente detetam algumas anomalias; e maior concentração do departamento de manutenção em atividades mais complexas de manutenção preventiva e preditiva. Em comparação com as características da Gestão de Ativos, rapidamente se notam várias semelhanças. No entanto, como referem Mobley *et al* (2008), existem algumas limitações: a TPM está direcionada para processos de produção e não inclui outras necessidades e expectativas das partes interessadas; é necessário alinhamento organizacional para suportar a cultura empresarial; a TPM funciona melhor quando existe especialização, através de habituação dos colaboradores e invariabilidade de equipamentos, o que dificulta a integração de novos processos. A Gestão de Ativos pode ser utilizada para complementar estas limitações.

A adição da gestão de ativos consiste em proporcionar um enquadramento para a aplicação e integração destas ferramentas no plano organizacional, definindo como

assistem na concretização do valor dos ativos da organização (IAM, 2015). Fica então a questão: é rentável o esforço adicional de enquadramento e coordenação?

Roda *et al* (2016) sugerem que, uma vez que para uma gestão otimizada de ativos é necessário determinar as implicações de cada decisão referente a ativos em todo o seu ciclo de vida, devem ser envolvidas todas as partes relevantes de uma organização na tomada de decisões, como os departamentos financeiros, projeto, operação, manutenção, entre outros. No estudo relativamente recente referido também por Roda *et al* (2016) reporta-se um estudo com base em entrevistas a organizações de diversas indústrias, em que se verificou:

- uma vontade da área da Manutenção de ter um papel mais ativo na tomada de decisões, durante as várias fases do ciclo de vida dos ativos, em vez de ficar confinada à gestão de ativos em termos de fiabilidade e disponibilidade durante o período de vida útil;
- novos investimentos relacionados com ativos são vistos como um problema financeiro, analisados através de vários indicadores como a TIR e o VAL, existindo uma necessidade reconhecida de adaptar os cálculos de investimento de modo a incluir na tomada de decisões uma visão de engenharia, quanto a aspetos técnicos e quanto a riscos e oportunidades para o desempenho;
- um reconhecimento nas indústrias com investimentos intensivos de capital (infraestruturas, serviços públicos, entre outros) do papel dos ativos e do seu desempenho como essencial para garantir a concretização dos objetivos das organizações.

Parida *et al* (2006) referem algumas questões que levam a que seja necessário implementar medição do desempenho da manutenção, a fim de poder estimar a contribuição dessa atividade para o plano organizacional, tais como: determinar se a escolha de estratégia de manutenção é a correta de entre as alternativas, incluindo inovações na matéria; definir qual o valor acrescentado das atividades de manutenção; qual a justificação para os investimentos de manutenção, não só se são a opção de manutenção correta, mas se proporcionam retorno de investimento; qual a contribuição da manutenção para questões de segurança, saúde e ambientais; e determinar se a informação extraída e adicionada pela manutenção é adequada. Além da medição de desempenho, incluída na Gestão de Ativos, a demonstração de alinhamento e visibilidade

das necessidades e expectativas das partes interessadas ajuda a responder a todas estas questões.

Apesar de, como já referido no ponto 2.3.2, a ISO 55001 (2014) não direcionar necessariamente para as práticas mais desenvolvidas e reconhecidas do estado da técnica, como por exemplo a RCM, não deixa de representar um ponto de partida definido através de consenso internacional das atividades que a organização deve incluir ao gerir ativos. Como tal, conforme referem Konstantakos *et al* (2019), a certificação de uma organização com a ISO 55001 serve como prova de alinhamento com as melhores práticas de tomada de decisões relativamente aos seus ativos, justificando-as e melhorando a sua reputação aos olhos das partes interessadas, ao proporcionar uma referência da posição da organização em relação às melhores práticas, algo que é muito complicado em algumas atividades, como, por exemplo, nos serviços públicos por serem monopólios. A adequação e adoção de novos processos e metodologias poderá decorrer das atividades de análise do contexto técnico, avaliação de desempenho e melhoria contínua definidas na ISO 55001 (2014).

Há que referir, no entanto, conforme notado por Konstantakos *et al* (2019), que as ISO 5500x são extremamente recentes, pelo que não existem provas empíricas da sua utilidade para a estratégia das organizações e não é dispensável a análise crítica da adequação por cada organização que as decida aplicar.

### **3.4. Exemplos de implementação das ISO 5500x**

A ISO disponibiliza no seu website uma lista<sup>2</sup> com algumas organizações certificadas com a ISO 55001 que optaram por divulgar essa informação. Mediante observação dessa lista, é possível observar que existe implementação em todo o mundo e que as organizações se incluem em vários sectores, como: serviços públicos (água, sanitário, eletricidade, gás); gestão de infraestruturas públicas (estradas, pontes, etc.); gestão de instalações; transportes públicos, portos e aeroportos; indústrias petroquímica e mineira; entre outros casos pontuais. Algo que de imediato se denota é que são empresas em que as necessidades e expectativas das partes interessadas têm forte influência, em termos de fiabilidade de serviço e questões de segurança, saúde e ambientais.

---

<sup>2</sup> <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/known-certified-organizations.html>

Devido à já referida falta de especificidade das ISO 5500x, já várias organizações publicaram guias de implementação da ISO 55001 no contexto de diversas áreas de negócio, como gestão de estradas em CEDR (2017) e gestão de infraestruturas ferroviárias em UIC (2016). Também em IEC (2015) defende-se a publicação de normas de gestão de ativos especificamente aplicáveis a redes elétricas, de modo a procurar consenso sobre as melhores práticas nesta área de negócios, como na avaliação de desempenho, LCC, priorização de atividades, entre outros, cuja inexistência dificulta a credibilidade das partes interessadas nestas organizações e o seu *benchmarking*.

Blackmore *et al* (2015) relatam resumidamente a experiência da Tenaga Nasional Berhad, uma empresa do serviço público elétrico da Malásia a atuar na geração, transmissão e distribuição, na implementação da gestão de ativos certificada, como parte de um plano estratégico de 20 anos para se afirmar como vanguardista de boas práticas nesta área de negócios. A implementação da gestão de ativos levou à substituição de políticas de manutenção preventiva baseadas no tempo por CBM, com impacto no diagnóstico de falhas, redução de indisponibilidades programadas e maior grau de certeza na saúde dos ativos.

Num artigo da Utility Magazine (2018), o responsável pela implementação da Gestão de Ativos na empresa Evoenergy – entidade operadora da rede de distribuição na Austrália – refere como importante o mapeamento das atividades da empresa em relação aos requisitos da ISO 55001 para obter certificação. Em semelhança ao referido por Blackmore *et al* (2015), também se deu uma mudança na abordagem à manutenção preventiva de ativos críticos, de uma visão baseada no tempo ou serviço por manutenção baseada na condição. Os ativos sem efeito nos clientes devido à existência de redundâncias são utilizados até à sua avaria. É referido ainda de importância para correta implementação da Gestão de Ativos: o apoio da gestão de topo; existência de um especialista ou equipa para manter o alinhamento e continuar a desenvolver a Gestão de Ativos; documentação bem organizada sobre os ativos e sobre os elementos e funcionamento do SGA, apoiada por um sistema de informação adequado; e a realização de avaliações de desempenho periódicas do SGA.

Rowe (2018) relata a experiência da Sydney Trains, empresa operadora de serviços ferroviários na zona de Sydney, Austrália, na busca pela certificação com a ISO 55001. Um dos aspetos focados da implementação, além da elaboração da política de gestão de ativos e do PEsGA, foi a consciencialização a vários níveis: da gestão de topo

para apoiarem a implementação; de outros líderes em vários níveis e áreas da organização para manterem o alinhamento e promoverem a cultura empresarial; e dos colaboradores envolvidos em atividades de gestão de ativos.

No artigo ISO (2017) refere-se os resultados que a entidade que gere o aeroporto de Genebra, Suíça, verificou com a implementação da ISO 55001, para o que foi necessária uma equipa multidisciplinar, interna e externa. Entre eles: elaboração de um registo de ativos estruturado contendo todos os ativos físicos; processo de tomada de decisões metódico e sistematizado, com consideração de cedências entre critérios nas várias fases de ciclo de vida; identificação de criticidade dos ativos; análise de rendimento financeiro melhorada graças à LCC; melhoramento da avaliação de desempenho dos sistemas de ativos. A empresa tem planos de melhorar o seu SGA, com base nos resultados de auditorias, de melhorar a integração com as suas restantes atividades e de elaborar ciclicamente novos PEsGA. A empresa realça alguns elementos como alvos principais de melhoria contínua: atualizar o registo de ativos físicos com novos tipos de informação que se mostrem pertinentes; elaboração de um plano de referência de custos de ciclo de vida dos ativos; otimizar custos de manutenção; e integrar planos de expansão com priorização de investimentos.

## 4. Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Neste Capítulo pretende-se cumprir um dos principais objetivos desta dissertação, que é determinar a utilidade da Gestão de Ativos para as organizações Operadoras das Redes de Distribuição de Energia Elétrica (ORDEE).

Para tal, são analisadas as características e problemas das atividades das redes de distribuição que podem ser abordados pela Gestão de Ativos. De modo superficial, o capítulo funciona como cumprimento da cláusula de análise do contexto da organização da ISO 55001 (2014).

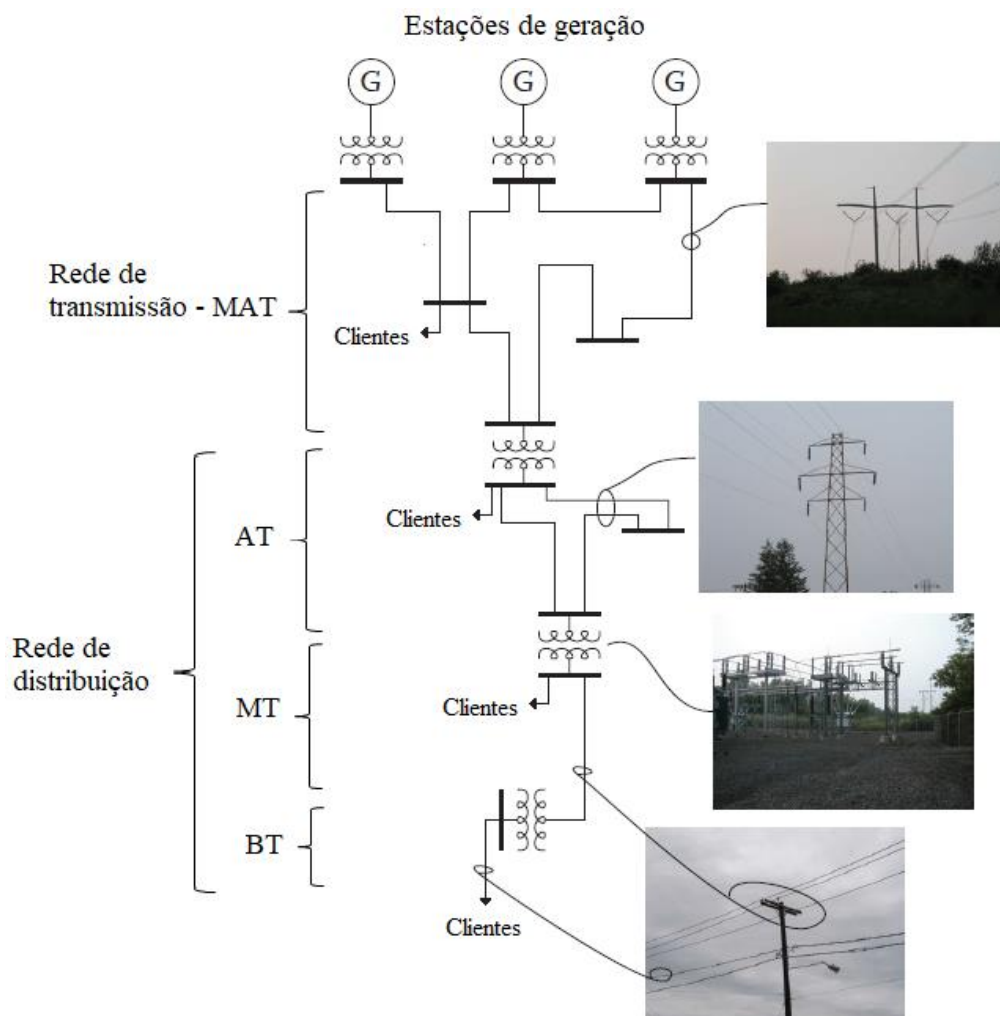
De notar que o termo “redes de distribuição de energia elétrica” por vezes também é aplicado para descrever instalações elétricas complexas de uso privado, por vezes incluindo até transformação de tensão, como em fábricas ou condomínios (no Decreto-Lei nº 29/2006 denominam-se por “redes de distribuição fechadas”), mas aqui apenas se abordam as redes de distribuição de serviço público.

Em algumas questões são dados exemplos do contexto de Portugal apenas para enquadramento, na falta de referências internacionais.

### 4.1. Enquadramento da rede de distribuição no fornecimento de energia elétrica

O fornecimento de energia elétrica é um serviço público com utilidade para o desenvolvimento económico e para a qualidade de vida das sociedades (Lima *et al*, 2019). Por esse motivo, cada país desenvolveu a sua própria infraestrutura para o fornecimento de energia elétrica. O desenvolvimento das infraestruturas de fornecimento de energia elétrica ao longo do século XX foi motivado por economias de escala, com produção centralizada de energia em larga escala e seu subsequente transporte para perto dos clientes (Tjernberg, 2018).

Conforme referido por Short (2014), a infraestrutura pública de fornecimento de energia elétrica divide-se em três funções essenciais: geração, transmissão (ou transporte) e distribuição. Na **Figura 4.1**, adaptada do original de Short (2014), representa-se a infraestrutura pública clássica.



**Figura 4.1.** Infraestrutura pública clássica simplificada de fornecimento de energia elétrica (Traduzido e adaptado (Short, 2014)).

No início da cadeia de fornecimento encontra-se a geração, que diz respeito às centrais de grande produção de energia elétrica em regime trifásico a partir de outras formas de energia, sendo as mais comuns as centrais termoelétricas que utilizam combustíveis fósseis, centrais hidroelétricas e as centrais nucleares (Brown, 2009). Cada tipo tem as suas vantagens e desvantagens, mas os principais aspetos que afetam a seleção do tipo de central e a sua localização são o rendimento energético em função dos custos e os impactos ambiental e social. Por esses motivos, normalmente situam-se afastadas de centros populacionais, perto de portos marítimos e zonas industriais (centrais termoelétricas), distanciadas da população por motivos de segurança (centrais termoelétricas e centrais nucleares), situadas em locais estratégicos para maximizar o rendimento energético (centrais hídricas), entre outros motivos.

Nas subestações à saída das centrais, a tensão é elevada para um nível de muito alta tensão (MAT) através de transformadores, o que reduz proporcionalmente o nível da

corrente elétrica, com três objetivos que rentabilizam o transporte de energia ao longo de grandes distâncias, conforme referido por Short (2014): reduzir as perdas energéticas (proporcionais ao quadrado da corrente), reduzir a queda de tensão ao longo da rede de transmissão (proporcional à corrente) e aumentar a capacidade de transporte (a corrente transportável num condutor está limitada pela secção do mesmo; aumentar a tensão é outra maneira de aumentar proporcionalmente a potência instalada).

Lidar com tensões mais elevadas aumenta as exigências ao nível da segurança das pessoas e bens e dos ativos, encarecendo-os (Tjernberg, 2018), mas é fácil perceber os benefícios obtidos observando a escala entre os níveis de tensão (medidos entre fases) utilizados:

- o nível MAT corresponde a tensões acima de 110 kV, com valores usuais de 220 ou 400 kV em Portugal (E-Redes, 2018) (noutros países existem linhas acima dos 1000 kV (Brown, 2009));
- o nível de alta tensão (AT) corresponde a tensões entre 45 e 110 kV (o padrão é 60 kV em Portugal);
- o nível de média tensão (MT) a tensões entre 1 e 45 kV; e
- o nível de baixa tensão (BT) utilizado nas habitações corresponde a uma tensão de 0,4 kV.

De notar que as gamas e valores nominais mencionados são os utilizados em Portugal (E-Redes, 2018) e estão bastante próximos dos usados a nível internacional, mas existem ligeiras variações, dependendo principalmente da zona geográfica, como indicado por Short (2014) em referência ao sistema norte-americano.

A rede de transmissão é o segundo elemento na cadeia de fornecimento, responsável pelo transporte de energia de longa distância em larga escala, desde as centrais até junto dos centros populacionais, normalmente ao nível MAT. Para tal, compreende linhas (maioritariamente aéreas), subestações de transformação de tensão (para interligar seções da rede a diferentes tensões MAT) e subestações de corte e seccionamento (Brown, 2009).

Para garantir a continuidade do fornecimento da rede de transmissão à rede de distribuição em regime de contingência n-1, por vezes até n-2, para a falha de qualquer elemento, a rede de transmissão e as suas ligações à geração são concebidas com redundâncias e caminhos alternativos de trânsito de energia, estabelecidos pelas linhas e controlados através dos equipamentos nas subestações (IEC, 2015). Além disso, a

interligação constante de toda a geração, evitando que se criem “ilhas”, ajuda a manter a estabilidade da frequência da tensão de toda a infraestrutura pública, pois reduz a relevância do ligamento e desligamento de cargas, mesmo sendo elevadas (EN 50160, 2010).

O elemento final da infraestrutura é a distribuição, cujo papel consiste em receber a energia da rede de transmissão reduzida para o nível AT, reduzir adicionalmente o nível de tensão até aos níveis utilizados pelos clientes e distribuir a energia elétrica a toda e qualquer localização dos clientes, dentro dos centros urbanos ou em localizações mais remotas.

De modo geral, a rede de distribuição é também composta por linhas para o transporte de energia (normalmente aéreas ou subterrâneas) e postos (subestações, postos de transformação, etc.) através dos quais é feito o controlo da rede (Brown, 2009). O conceito por detrás da conceção da rede de transmissão é repetido na rede de distribuição, em menor escala:

- a energia ao nível AT é recebida da rede de transmissão numa subestação e é distribuída dentro de um território por várias linhas, cada servindo uma ou mais zonas;
- em cada zona, subestações transformam a tensão AT em MT, a partir das quais a energia é distribuída através de linhas para subzonas de área menor; e
- por fim, em cada subzona, postos de transformação transformam a tensão em BT próximo dos clientes para completar a ligação aos mesmos.

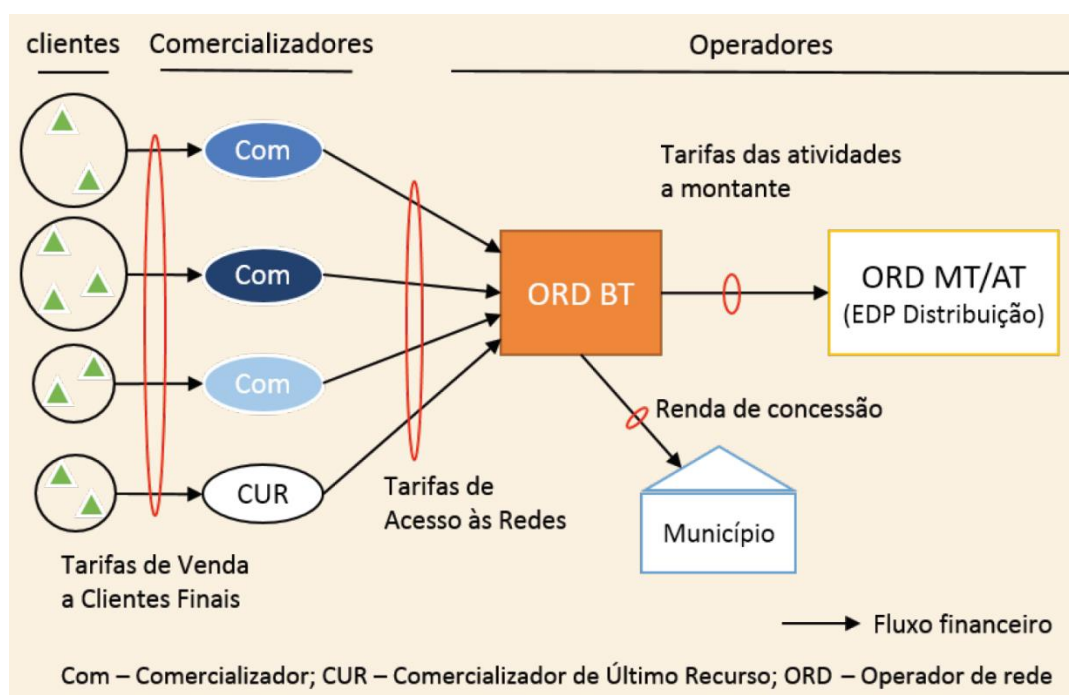
A tensão não é de imediato reduzida de MAT para o nível de utilização de BT, para manter as economias de escala (menos condutores necessários) e porque a extensão das redes BT está limitada principalmente pela queda de tensão (relativamente superior nas redes BT).

Como observado na **Figura 4.1**, há clientes ligados a níveis acima de BT, que nas suas instalações se responsabilizam pela transformação da tensão para os seus níveis de utilização. Em Portugal, quanto maior a gama de tensão de fornecimento, mais barata é a energia e mais exigentes são os padrões de desempenho de continuidade de fornecimento, mas os custos de ciclo de vida dos ativos são maiores, encarecendo as instalações, e a energia reativa consumida também é faturada (E-Redes, 2018), pelo que é uma opção atrativa apenas a grandes consumidores (centros comerciais, indústria, etc.). Os clientes incluem não só os consumidores de energia, mas também instalações produtoras de

energia “não convencionais”, a partir de recursos renováveis, resíduos, centrais industriais de cogeração (calor e eletricidade) e pequenas hidroelétricas (E-Redes, 2018).

Por norma, a distribuição é o elemento da infraestrutura de fornecimento com maior influência no desempenho global da infraestrutura, em termos de fiabilidade e qualidade de serviço, no custo final da eletricidade vendida e com mais impacto em outros aspetos da sociedade (visualmente e em termos de embaraços para o trânsito rodoviário e outros, por estar mais próxima dos clientes e possuir muitos mais ativos) (Short, 2014).

Com as iniciativas de desregulação do mercado de fornecimento de eletricidade no início do milénio em muitos países do mundo, surgiu um novo elemento a jusante na cadeia de fornecimento, a comercialização, que ficou separada da distribuição (Short, 2014). No entanto, tal apenas afetou os relacionamentos comerciais, os ativos em si ainda fazem parte do âmbito das organizações responsáveis pela distribuição. A título exemplificativo, na **Figura 4.2** apresentam-se as relações comerciais nas redes de distribuição em Portugal (ERSE, 2018).



**Figura 4.2.** Relações comerciais dos operadores de redes de distribuição em Portugal (Retirado de ERSE (2018)).

A rede de transmissão e a rede de distribuição ambas constituem monopólios naturais, visto serem serviços de capital intensivo e de grande ocupação de área como outros serviços públicos, como distribuição de água ou esgotos – não seria prático nem

económica e socialmente aceitável desenvolver redes elétricas paralelas em competição (Short, 2014).

Loyd (2010) refere que um mercado competitivo leva ao desenvolvimento de soluções eficientes. Por esse motivo, apesar do movimento para a desregulação do sector eléctrico público, a operação das redes de distribuição e das redes de transmissão ainda são altamente reguladas para estimular o serviço adequado. Conforme referem Förster *et al* (2017), a regulação sobre um monopólio ajuda a substituir a falta de sinais de mercado que criam exigências para a organização, existentes nos mercados em que existe competição, sinais esses como a aceitação de preço pelos clientes ou a preferência pela qualidade dos serviços. Nesse sentido, como adiantam Lima *et al* (2019), os objetivos da regulação de mercado são controlar custos e proveitos, promover elevada fiabilidade, eficiência e qualidade de serviço e promover interesses macroeconómicos.

Assim, conforme referem Lima *et al* (2019), as empresas do setor dos serviços públicos – incluindo as redes de distribuição – necessitam de uma gestão que lhes permita extrair mais valor dos seus ativos físicos, ao mesmo tempo que são sustentáveis, competitivas, mantêm uma boa reputação junto do público e seguem requisitos da regulamentação.

Conforme mencionado na CIGRE TB 787 (2019), existem vários esquemas de organização das várias funções da infraestrutura pública de fornecimento de energia eléctrica: em alguns países estão integradas verticalmente da geração à distribuição (monopólio total), noutros as redes de transmissão e distribuição são geridas conjuntamente em separado da geração, noutros ainda – como Portugal – todas as funções estão separadas. Adicionalmente, em alguns países a rede em AT também é considerada como parte da rede de transmissão (Short, 2014).

## **4.2. Necessidades e expectativas das Partes Interessadas**

As partes interessadas com mais impacto na gestão dos ativos das empresas de distribuição eléctrica dividem-se em 4 grupos: utilizadores da rede; fornecedores de capital; trabalhadores da organização; e a organização em si representada pela gestão de topo. Em seguida resumem-se os seus interesses de modo geral analisados em documentos da literatura técnica.

Segundo Short (2014), os principais interesses dos clientes utilizadores das redes de distribuição (consumidores, produtores de energia ou ambos) são principalmente

menores custos pela utilização da rede e, em seguida, maior fiabilidade de serviço. Förster *et al* (2017) acrescentam ainda a segurança das instalações para pessoas e bens e a rapidez na resolução de avarias e falhas de fornecimento de energia. Ao nível da sociedade em geral, os interesses prendem-se com o impacto visual das redes (devido principalmente às linhas aéreas e subestações ao ar livre), o impacto ambiental, a transparência e a participação em decisões técnicas com grande impacto nas comunidades.

Os representantes políticos são quem tenta proteger os interesses dos utilizadores da rede e da sociedade em geral, através de legislação e regulamentação. A legislação e regulamentação publicada acerca do sector público elétrico estabelece muitas disposições sobre as suas atividades, resultando numa grande influência sobre as mesmas, pelo que a regulação é analisada em maior detalhe em 4.3.

Do grupo de partes interessadas que proporcionam capital à empresa incluem-se investidores e credores. Segundo Förster *et al* (2017), o interesse deste grupo é o retorno do investimento e o risco envolvido com o mesmo. O investimento em empresas de infraestruturas de fornecimento de energia é geralmente considerado de baixo risco – possivelmente devido à sua natureza monopolística –, no entanto existe competição por esse investimento por parte de empresas de outros tipos de infraestruturas e a nível internacional, pelo que é conveniente a essas empresas manterem um bom registo de eficácia e acompanharem a evolução do sector.

Em relação aos trabalhadores, Förster *et al* (2017) referem que é necessário atrair trabalhadores qualificados, tanto ao nível de engenharia como operacional. O interesse principal de quem lida diretamente com os ativos é a segurança física, cuja perceção é influenciada por lidar com equipamentos/sistemas complexos ou com que se tem pouca familiaridade, que levam à sensação de insegurança e stress, pelo que tal deve ser tido em conta na seleção e na consideração da manutibilidade dos equipamentos. A segurança também é melhorada através de formação adequada sobre perigos. Em seguida, por ordem de importância, seguem-se a estabilidade do posto de trabalho, oportunidade de desenvolvimento profissional, salário e transparência no funcionamento da empresa.

Márquez *et al* (2020a) definem os interesses típicos do ponto de vista geral da gestão de topo da própria organização: maximizar disponibilidade de equipamentos; atingir compromissos de qualidade; otimizar a eficiência dos custos e de outros recursos; a segurança dos seus trabalhadores e clientes; e manter a reputação da organização.

Para suplementar esta análise teórica geral, seguindo o referido em 3.2.1, deve ser realizada uma análise prática, quantitativa e qualitativa, representativa das necessidades e expectativas das partes interessadas, de modo a definir critérios mais objetivamente para a Gestão de Ativos. Na ausência desse contacto com as partes interessadas nesta dissertação, será tido em conta o aqui referido, o que está também concordante com o observado nas metodologias de análise de risco na CIGRE TB 734 (2018) e os casos práticos na CIGRE TB 787 (2019).

### **4.3. Regulação aplicável – Caso Portugal**

Não existe regulação estabelecida a nível internacional para a gestão, planeamento, manutenção ou operação de infraestruturas de fornecimento de energia de modo geral ou das redes de distribuição em particular (IEC, 2015). No entanto, este é um aspeto essencial para a análise de utilidade da gestão de ativos e que tem grande impacto nas atividades das organizações, pelo que é necessário observar um caso específico a título exemplificativo, que aqui é Portugal. Apesar das diferenças, conforme referem Catrinu *et al* (2010), o objetivo da regulação é tipicamente o mesmo: assegurar boa qualidade de serviço, maior eficiência na utilização das redes e menores custos/preços.

O documento legislativo que constitui a base da regulação para a organização e funcionamento do sistema elétrico nacional de Portugal é o Decreto-Lei nº 29/2006. É referido no documento que o mesmo está em concordância com diretivas europeias, pelo que será expectável algum alinhamento a esse nível. Foi também publicado o Decreto-Lei nº 172/2006 como desenvolvimento dos princípios gerais e do alinhamento com as diretivas europeias relevantes.

#### **4.3.1. Valores de base por detrás da Regulação**

Com o objetivo de estabelecer um mercado liberalizado e concorrencial de fornecimento de energia elétrica, entre outros, o Decreto-Lei nº 29/2006 determina que as atividades de produção e comercialização são exercidas em regime de livre concorrência, mediante a atribuição de licença, e que as atividades de transporte e distribuição são exercidas mediante a atribuição de concessões de serviço público.

A concessão da rede de distribuição em Portugal Continental está dividida em 2 itens: a concessão da denominada Rede Nacional de Distribuição (RND), detida pelo Estado, que compreende as redes em MT e AT, que é atribuída a um único operador a nível nacional por períodos de 35 anos; e a concessão das múltiplas redes de distribuição

em BT, detidas pelos municípios, que são atribuídas individualmente por períodos de 20 anos, existindo vários operadores em Portugal. Em ambos os casos, as entidades concessionárias destas redes denominam-se no presente documento por ORDEE.

No Decreto-Lei nº 29/2006 referem-se os valores centrais por detrás da regulação estabelecida. As atividades desenvolvidas devem ter em conta a racionalidade de meios e a proteção do ambiente, através da promoção da eficiência energética e da utilização de energias renováveis e recursos endógenos, sem com isso prejudicar as obrigações de serviço público, as quais incluem, principalmente: a segurança de pessoas e bens, a continuidade de serviço (minimizar a frequência e duração das interrupções de fornecimento de energia elétrica), qualidade do fornecimento de energia e a garantia de ligação de todos os clientes às redes. O Decreto-Lei nº 172/2006 adiciona ainda que devem ser adotados os melhores meios e tecnologias geralmente utilizados no sector elétrico para o desempenho das atividades.

No Decreto-Lei nº 29/2006 especificam-se as responsabilidades dos ORDEE, que são: planeamento, desenvolvimento, exploração, comando e manutenção de modo economicamente sustentável da sua rede de distribuição e, onde aplicável, das suas interligações com outras redes.

O planeamento tem como objetivo assegurar a capacidade das redes para a receção e entrega de eletricidade e facilitar o desenvolvimento da geração distribuída e de medidas de gestão da procura, tendo por base a caracterização técnica da rede (em que se salienta a capacidade de carga instalada) e a caracterização da oferta e procura atuais e previstas. Como tal, exige-se alinhamento de planeamento entre as redes a montante e jusante. Devido à sua importância socioeconómica, este planeamento deve estar expresso num plano de desenvolvimento e investimento, elaborado pelos ORDEE de 2 em 2 anos para os 5 anos seguintes. O planeamento da RND em particular é sujeito a parecer da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (que por sua vez promove a consulta pública) e do operador da rede de transporte e sujeito a aprovação pelo Estado.

O Decreto-Lei nº 29/2006 e o Decreto-Lei nº 172/2006 direcionam para regulamentos mais específicos quanto às atividades das entidades concessionárias, sendo de interesse para as redes de distribuição o já referido Regulamento da Rede de Distribuição (RRD) e alguns dos regulamentos produzidos pela ERSE, entre os quais: o Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS), o Regulamento de Relações Comerciais, o

Regulamento Tarifário (RT) e o Regulamento de Acesso às Redes e às Interligações (RARI).

### **4.3.2. Regulamentos específicos**

O RRD, parte integrante da Portaria nº 596/2010, define o que constitui as redes de distribuição e estabelece as condições da sua exploração (controlo e operação), de relacionamento com outras entidades, de execução de trabalhos e manutenção das redes. Estabelece também as condições técnicas de ligação das instalações dos utilizadores e dos sistemas de apoio das redes.

Define-se no RRD (2010) que a RND (e, portanto, a responsabilidade desse operador) inicia a montante nas linhas AT (ou seja, a jusante das subestações MAT/AT) e termina a jusante nas linhas MT. Os postos de transformação que realizam a transformação de tensão MT/BT consideram-se responsabilidade dos operadores das redes BT, a qual inclui também as linhas BT a jusante dos postos de transformação até ao início das instalações dos clientes (normalmente no quadro de colunas de habitações coletivas ou na portinhola em habitações individuais). As concessões incluem os elementos das redes e os de suporte à exploração dessas redes, sendo que as fronteiras entre redes são definidas em protocolos para efeitos de atribuição de responsabilidade.

É também responsabilidade dos ORDEE das redes BT as redes de iluminação pública, mas tal não será aqui tratado.

O RQS (ERSE, 2021b), como o nome indica, estabelece os padrões de qualidade técnica e comercial. Entre outros, define, de particular interesse para a gestão dos ativos das redes de distribuição:

- quais os indicadores de desempenho (KPI) técnico da atividade de distribuição de energia a utilizar, que de modo geral se prendem com a redução da duração e frequência das interrupções de fornecimento e com a qualidade da tensão fornecida (analisados em maior profundidade no ponto 4.5) e que estão de acordo com as diretivas europeias (E-Redes, 2018);
- os padrões de comparação com os indicadores de desempenho;
- como são classificadas as falhas de fornecimento de energia, o que determina responsabilidades e quais obrigam os ORDEE a compensação;
- o mecanismo de apoio à melhoria da continuidade de serviço, em relação ao serviço global e aos clientes pior servidos;

- obrigações quanto à resposta a avarias pelos ORDEE e outras disposições quanto ao desempenho em relação ao tratamento dos utilizadores e outras entidades do sistema elétrico nacional;
- informação a ser disponibilizada publicamente em relação aos pontos anteriores.

O RQS (ERSE, 2021b) introduz a necessidade de elaborar anualmente um relatório de qualidade de serviço com toda esta informação, juntamente com informação sobre o cumprimento das medidas de desempenho, a caracterização de incidentes de elevado impacto na continuidade e qualidade do serviço e ações mais relevantes realizadas para a melhoria da qualidade de serviço.

O RQS (ERSE, 2021b) define ainda os clientes com direito a níveis de qualidade de serviço superiores, que para a Gestão de Ativos permitem identificar ativos críticos:

- entidades responsáveis por parques industriais ou empresariais podem optar, e suportar os encargos, de uma ligação à rede com uma tipologia (aconselhada pelo ORDEE respetivo) que garanta um nível superior de continuidade de serviço, cujas características são depois garantidas pelo ORDEE;
- clientes que prestam serviços de segurança ou saúde, em que a interrupção do fornecimento de energia elétrica cause graves alterações à sua atividade, têm prioridade na resolução de avarias (medidas adicionais de precaução como alimentação de emergência, no entanto, ficam a cargo dos clientes);
- em capitais de distrito e zonas de elevada população os padrões de desempenho relacionados com a continuidade de serviço são mais exigentes;
- quanto maior a tensão de fornecimento ao cliente, os padrões de desempenho relacionados com a continuidade de serviço também são mais exigentes.

Para disposições e procedimentos mais específicos sobre a qualidade de serviço, como a classificação de zonas de qualidade de serviço, o método de cálculo dos indicadores de desempenho, os planos de monitorização de qualidade da energia ou o cálculo dos incentivos à melhoria da continuidade de serviço, entre outros, o RQS (ERSE, 2021b) redireciona para o Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço (MPQS) (ERSE, 2021a) que também é publicado pela ERSE.

Em relação ao RT (ERSE, 2020), este estabelece os métodos para a formulação de tarifas entre os agentes do sistema elétrico nacional, bem como os métodos para cálculo dos proveitos a recuperar e as compensações a pagar pelas organizações relacionadas com o transporte, distribuição e comercialização de energia. Identifica ainda a informação

periódica requerida pela ERSE, de modo a identificar os custos, proveitos, ativos, passivos e capitais próprios associados às atividades do operador da RND. Tal não faz parte do âmbito da gestão dos ativos, mas utiliza informação proveniente dessa atividade e influencia a mesma na medida em que define orçamentos previstos. Também demonstra que um dos valores da ERSE é controlar os custos com o sistema elétrico nacional e a sua operação.

Com efeito na gestão dos ativos, na fase de planeamento de investimentos, no RT (ERSE, 2020) prevêem-se incentivos à promoção do desempenho ambiental, à redução de perdas, à melhoria da continuidade de serviço e ao investimento em rede inteligente, os quais se refletem nas tarifas de eletricidade. Os investimentos em promoção do desempenho ambiental e em rede inteligente, devido à sua natureza subjetiva, são alvo de aprovação como tal pela ERSE, pelo que têm de ser descritos e justificados adequadamente. Os investimentos em rede inteligente têm como objetivo obter benefícios quantificáveis para o sistema elétrico nacional, pelo que é necessário esclarecer os benefícios para a rede de distribuição em termos de redução de custos operacionais, melhoria de operação e gestão da rede, redução de perdas energéticas, melhoria de qualidade de serviço, monitorização dos ativos com vista ao prolongamento da sua vida útil e os benefícios para outros agentes do sistema elétrico nacional, incluindo os consumidores, sendo também necessário identificar os riscos envolvidos com esses investimentos.

Em relação a outros projetos de investimentos na RND relacionados com remodelação e expansão, o RARI (ERSE, 2017) refere que os mesmos dão direito a retribuição ao operador dessa rede através das tarifas definidas no RT, no entanto também são alvo de aprovação pela ERSE, é necessário definir as características técnicas e os motivos que fundamentam a necessidade desses projetos.

#### **4.4. Os ativos das Redes de Distribuição**

Pretende-se aqui referir brevemente os principais ativos característicos das redes de distribuição, as diferentes criticidades e a problemática relativamente à sua seleção e manutenção, devido às várias tecnologias e materiais disponíveis. Uma análise exaustiva de todos os ativos estaria fora do âmbito desta dissertação, pelo que apenas se pretende demonstrar a complexidade e o impacto dos ativos em várias necessidades e expectativas das partes interessadas.

Os ativos das redes de distribuição que estão em contacto direto com as tensões e correntes nominais das redes de distribuição, comumente designados “ativos do sistema de potência”, dividem-se em dois tipos de sistemas devido à diferença entre as suas funções e a sua distribuição geográfica: postos elétricos e linhas.

O termo “posto elétrico”, concordante com a definição indicada no Decreto Regulamentar nº 1/1992, refere-se a uma parte da rede elétrica situada num mesmo local e que inclui extremidades de linhas e aparelhagem elétrica, cuja função é a transformação do nível de tensão, derivação de linhas e/ou o melhoramento da fiabilidade, através da deteção e isolamento de avarias, proteção dos ativos e controlo das ligações. Pode-se considerar cada um destes postos como um sistema de ativos por si só, incluindo variados ativos como transformadores, aparelhagem de corte, baterias de condensadores, etc.

Por “linhas” pretende-se referir as instalações elétricas destinadas à condução de energia elétrica, por via aérea, subterrânea, isolada a gás ou via subaquática, entre elementos da rede de distribuição, sendo esses elementos postos elétricos, consumidores ou produtores. Devido à sua função, estes sistemas de linhas estendem-se por longas distâncias, em vez de estar concentrados num só local como os postos. O estabelecimento de linhas, formadas por condutores elétricos, obriga ao estabelecimento de estruturas e elementos necessários para o seu suporte, como apoios (“postes elétricos”), isoladores, canalização, entre outros, que também são responsabilidade dos ORDEE. Ao longo das linhas são também instalados equipamentos secundários para a sua monitorização.

De modo geral, nos ativos do sistema de potência o nível de tensão é o fator mais determinante na seleção e exigências dos equipamentos, pois determina as necessidades de isolamento, diferente entre as gamas AT, MT e BT: no nível BT basta evitar o contacto entre elementos condutores para evitar um curto-circuito, mas em MT é necessária distância para evitar um arco elétrico, distância essa ainda maior no nível AT.

Além dos ativos dos sistemas de potência, há a considerar os ativos físicos auxiliares destinados ao suporte das atividades da rede de distribuição, incluindo-se: os ativos dos sistemas de automação dos postos elétricos com destino à sua monitorização, proteção e operação; os ativos de telecomunicações e telecomando que permitem a monitorização e a operação da rede de distribuição à distância; e os equipamentos de contagem para efeitos de controlo e faturação situados nos postos elétricos e junto das instalações dos clientes.

Existem muitos outros ativos a cargo dos ORDEE que podem ser incluídos no âmbito da Gestão de Ativos mas que não são aqui analisados devido ao seu caráter geral, os quais incluem os terrenos onde se situam os postos elétricos, sistemas de alimentação de emergência dos mesmos, iluminação e sistemas de segurança dos postos, entre outros.

#### **4.4.1. Postos elétricos**

Na rede de distribuição os postos elétricos surgem sob diferentes formas, devido principalmente às tensões envolvidas e à sua função. Na rede AT, as subestações são os postos elétricos em que é realizada a transformação de tensão AT-MT, nome também comumente dado aos postos em AT que servem apenas como interligação ou proteção de linhas. Os postos com a mesma função na rede MT designam-se normalmente por posto de transformação (de MT para BT), posto de seccionamento, posto de corte ou suas combinações, dependendo das funções incluídas, sendo neste documento referidos genericamente como “postos MT”.

##### **4.4.1.1. Diferentes conceções de postos**

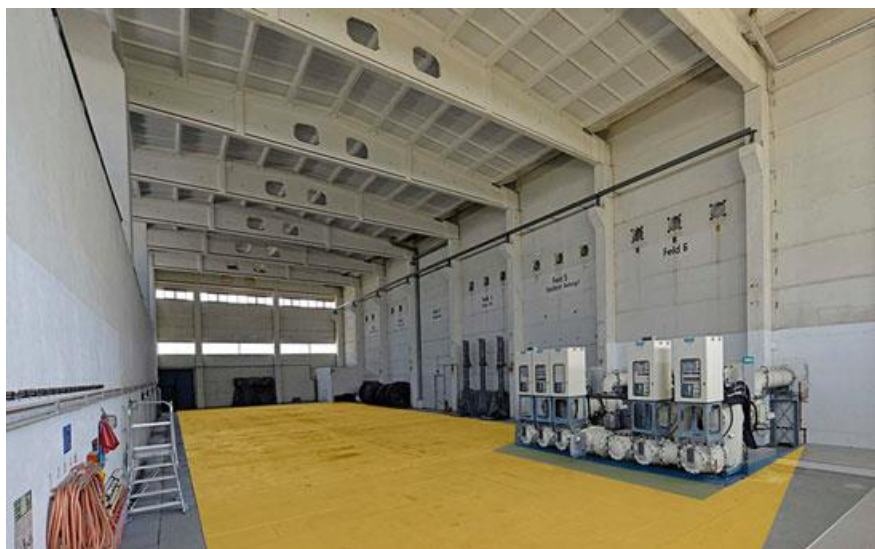
A conceção dos postos depende principalmente da gama de tensão envolvida.

No lado AT das subestações, como meio de isolamento dos ativos, é normalmente utilizado ar ou então os ativos são colocados num invólucro metálico que contém gás, por norma hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ) o qual possui maior poder isolador que o ar. Ambas as soluções apresentam vantagens e desvantagens.

O isolamento a ar em AT requer elevadas distâncias de isolamento, logo as subestações ocupam áreas consideráveis. Quando construídas ao ar livre, provocam impacto visual que não é bem visto pela sociedade e é necessária a mitigação de influências externas, como as condições atmosféricas, poluição, animais e vandalismo. Para limitar o impacto visual, é comum a plantação de árvores na área envolvente ou a construção em áreas remotas ou sem interesse habitacional, ou seja, nas zonas limítrofes de centros urbanos. Quando necessário o estabelecimento em centros urbanos ou em zonas de condições atmosféricas muito agressivas, é comum a construção de paredes ou mesmo a inclusão dentro de edifícios dedicados, o que por sua vez possui desvantagens, como: maiores custos de construção; aumenta os tempos de reparação dos equipamentos; e a área necessária não é reduzida. Não obstante, o isolamento a ar é a opção mais comum, com as principais vantagens de: ativos mais baratos; se o preço da área for reduzido, por

exemplo fora de centros urbanos, a área não é problema; o seu projeto e construção são mais simples; a sua expansão é fácil (CIGRE Study Committee B3, 2019).

Os ativos isolados a gás são mais caros. No entanto, a grande vantagem advém da menor distância de isolamento, possibilitando uma conceção mais compacta, poupando 80-90% do espaço se se considerar apenas a aparelhagem de manobra e proteção, como visível na **Figura 4.3**. Tal é particularmente vantajoso em centros urbanos em espaços limitados e para postos móveis de emergência. Também apresenta vantagens em ambientes salinos ou de elevada poluição, pois os equipamentos estão protegidos pelo invólucro metálico. O SF<sub>6</sub> não é inflamável e as partes em tensão não estão expostas, o que representa vantagens em termos também de segurança de pessoas, permitindo a construção da subestação no interior de edifícios de habitação (CIGRE Study Committee B3, 2019).



**Figura 4.3.** Redução de espaço na substituição de uma subestação isolada a ar por uma subestação equivalente a gás (Retirado de CIGRE Study Committee B3 (2019)).

Os ativos isolados a gás possuem maiores tempos de reparação, mas a fiabilidade é superior, de tal modo que a disponibilidade resultante é maior. A principal desvantagem dos ativos isolados a gás é a de que o SF<sub>6</sub> é um gás que contribui para o aquecimento global e a sua descarga para a atmosfera é estritamente proibida, motivo pelo qual é necessário equipamento de deteção e controlo de fugas, sendo que na prática são raras as situações em que os limites impostos são ultrapassados, pois são utilizados elevados fatores de segurança. Tal aumenta também os custos de eliminação de equipamentos. Outros gases de substituição menos nocivos estão a ser investigados (CIGRE Study Committee B3, 2019). Apesar de ser uma tecnologia com mais de 40 anos, a aversão ao

risco e o conservadorismo característicos do sector das redes públicas tornam esta uma opção ainda pouco adotada em muitas zonas do mundo (Brown, 2009).

No nível MT, tanto nas subestações como nos postos MT, sendo as distâncias de isolamento menores, o isolamento a gás não introduz vantagem suficiente, pelo que uma prática comum consiste em instalar os ativos em invólucros metálicos ligados à terra, contendo apenas ar ambiente como isolamento. Além de proteger os equipamentos, tal introduz uma barreira física para salvaguardar a segurança de pessoas. Por norma os invólucros com a aparelhagem MT são instalados no interior de edifícios dedicados para diminuir o impacto visual e proteger os invólucros das condições atmosféricas (Brown, 2009).

Os invólucros podem também ser construídos de modo compartimentado (comumente designados celas), separando a diferente aparelhagem, o que ajuda a evitar a propagação de anomalias e possibilita a manutenção ou remoção individual dos equipamentos, sem ter de desligar todos os equipamentos vizinhos por razões de segurança, desse modo aumentando a disponibilidade das instalações. A desvantagem da construção em celas está no preço, pelo que são recomendadas principalmente para cargas elevadas e de requisitos de fiabilidade elevados, como é o caso das redes de distribuição (Brown, 2009). Outra solução mais barata consiste em instalações isoladas a ar abertas, sem invólucro, dentro ou fora de edifícios dedicados (Brown, 2009). No entanto, a principal razão para se verificarem diferentes conceções nas redes de distribuição é a idade dos postos e a evolução das conceções: equipamentos sem invólucro encontram-se principalmente em postos mais antigos quando os invólucros ainda não eram utilizados (Catrinu *et al*, 2010).

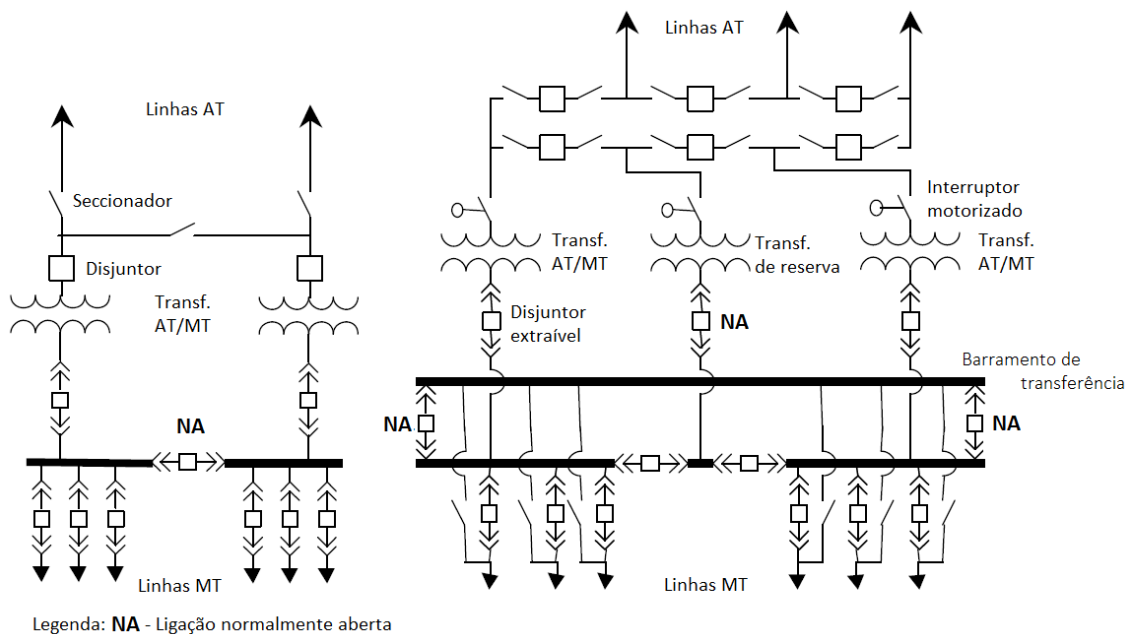
Os postos MT surgem em diferentes formas, tendo em conta a potência.

Em meios rurais, com pouca densidade de potência, a rede de distribuição é constituída principalmente por linhas MT (poucas linhas BT), pelo que cada posto serve poucos clientes de baixa potência. Em consequência, é normalmente constituído por um relativamente pequeno transformador de potência colocado no topo de um apoio e alguns equipamentos de proteção colocados num armário. Por norma não possuem redundâncias e a estratégia de manutenção usada é a corretiva (Short, 2014).

Em centros urbanos, com elevada densidade populacional e pouco espaço disponível ou de elevado custo, os transformadores de potência são de maior potência e

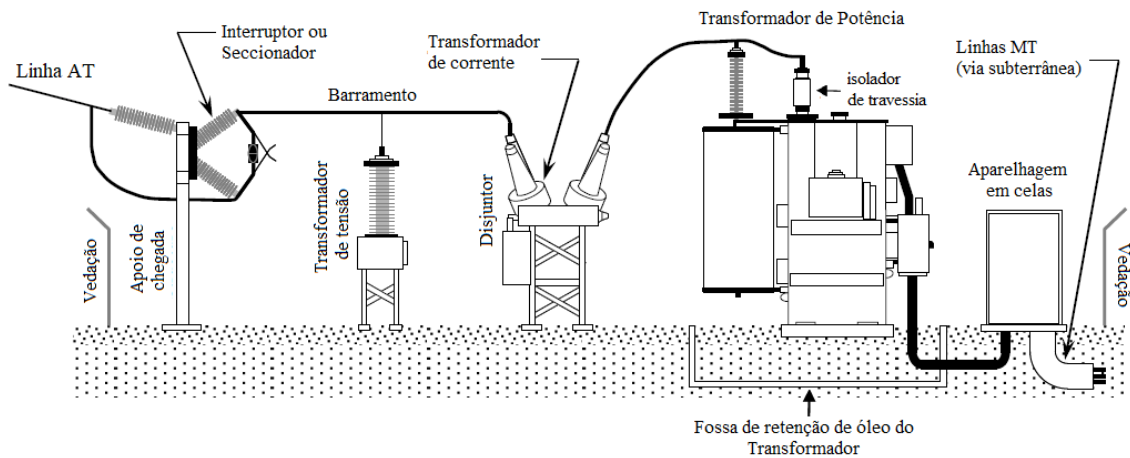
dimensão, pelo que têm de ser alojados em cabines próprias na rua, em cabines subterrâneas ou dentro de edifícios (caso em que os transformadores são do tipo seco, em vez de óleo, por motivos de segurança). Normalmente possuem redundâncias e são alvo de inspeções anuais, manutenção preventiva e por vezes até preditiva (Short, 2014). Devido à sua proximidade de pessoas, especialmente quando na rua, são concebidos à prova de manipulação e invasão e sem partes passíveis de ser energizadas expostas (Brown, 2009).

Ao nível da configuração, existem variadas alternativas para a conceção das subestações e dos postos MT, com diferentes desempenhos ao nível da fiabilidade. Na **Figura 4.4**, retirada e traduzida do original de Brown (2009), apresentam-se duas conceções típicas: à esquerda, uma solução simples, bastante comum, com redundância das linhas AT, dos transformadores e dos disjuntores a montante do barramento de MT em modo preventivo (ligações normalmente abertas), em que os transformadores são dimensionados para conseguir suportar (ainda que em situação de sobrecarga) todos os clientes abastecidos (Short, 2014); à direita, uma solução ainda mais fiável, com barramento em anel à entrada, transformador de reserva para situações de avaria e barramento de transferência à saída para permitir a manutenção ou substituição dos disjuntores das linhas MT sem interrupção de fornecimento às próprias linhas em manutenção. Cabe aos ORDEE a otimização entre custos e nível de serviço exigido e o planeamento de necessidades a longo prazo.



**Figura 4.4.** Configurações típicas de subestação (Traduzido (Brown, 2009)).

Na **Figura 4.5** apresentam-se os principais ativos dos postos elétricos – neste caso, uma subestação isolada a ar na sua forma mais simples.



**Figura 4.5.** Subestação isolada a ar na sua forma mais simples (Traduzido (Brown, 2009)).

#### 4.4.1.2. Transformador de Potência

O transformador de potência é utilizado para a transformação do nível de tensão, pelo que é um elemento fundamental para a infraestrutura elétrica pública, ao permitir a elevação para os níveis da rede de transmissão e na distribuição ao permitir a redução da tensão para os níveis de utilização. Além da importância da sua função, é um ativo bastante dispendioso, pelo que é considerado um ativo crítico da rede de distribuição e são instalados equipamentos de proteção elétrica dos dois lados (Short, 2014). Além da proteção elétrica, é comum a proteção através de relés de monitorização permanente de vários parâmetros de funcionamento, como a pressão do óleo (quando presente) e o diferencial de entrada e saída de energia do transformador, particularmente em transformadores de elevada potência (Short, 2014).

Tjernberg (2018) descreve os elementos fundamentais do transformador:

- núcleo ferromagnético (circuito magnético);
- em torno do núcleo estão enrolamentos, cada normalmente constituído por um condutor de cobre isolado por material celulósico (AT) ou resina (MT e BT);
- um tanque metálico que engloba o núcleo e os enrolamentos e que normalmente também possui no seu interior um meio de isolamento adicional, comumente óleo mineral, que também serve como elemento de arrefecimento;
- isoladores de travessia, que são isoladores ocios que no seu interior contêm condutores, de modo a realizar a ligação elétrica entre os enrolamentos contidos no

interior do tanque e os condutores no exterior provenientes da rede a montante e descendentes para a rede a jusante, evitando a ligação elétrica com o tanque;

- comutador de tomadas (em serviço ou não), quando presente, é o elemento cuja atuação altera o número de espiras dos enrolamentos incluídas no circuito elétrico e, assim, permite fazer pequenos ajustes para regular o nível de tensão de saída;

- elementos de arrefecimento forçado, quando presentes, aplicados ao óleo (bombas) e/ou ao ar no exterior do transformador (ventoinhas), que permitem o aumento da carga do transformador. A sua avaria deixa o transformador em sobrecarga.

Os condutores são afetados pelo histórico de sobrecargas e situações de curto-circuito, que além de esforços térmicos produzem esforços eletromecânicos. O envelhecimento do isolamento dos condutores é afetado pelas condições do óleo (temperatura, humidade, teor de oxigénio, acidez) impregnado no isolamento quando do tipo celulósico; uma vez que a sua degradação é irreversível e a reparação por norma não é economicamente viável, é um elemento que limita a vida útil do transformador, pelo que a monitorização das condições do óleo é essencial, por vezes através de monitorização em tempo real além de inspeções periódicas (Tjernberg, 2018).

O comutador de tomadas em serviço é concebido numa câmara própria em vácuo ou óleo mineral (separado do óleo do tanque). Quando é atuado, produz faíscas entre os contactos, cuja magnitude é determinada pela corrente e a temperatura dos condutores. As faíscas levam à erosão dos contactos e ao aumento da resistência de contacto. As elevadas temperaturas também levam à carbonização do óleo (quando utilizado) e à sua precipitação em forma granulada sobre os contactos, provocando desgaste e aumento da resistência de contacto (Chudnovsky, 2017). Segundo os estudos referidos na CIGRE TB 761 (2019), a maioria das avarias deste elemento devem-se a pouca ou incorreta manutenção. Conforme referido na CIGRE TB 761 (2019), é um elemento que pode ser reparado ou até substituído, o que por vezes prejudica a sua disponibilidade é a falta de sustentabilidade de peças de substituição ou pessoas com competências para a sua reparação, levando à necessidade de substituir o comutador. O comutador de tomadas fora de serviço é utilizado quando a sua atuação se prevê pouco frequente.

O invólucro exterior dos isoladores de travessia é em materiais isolantes, principalmente porcelana, mas também materiais compósitos, como resina reforçada com papel, e materiais poliméricos. O interior do isolador de travessia pode conter isolamento de papel adicional e/ou pode estar preenchido com óleo ou gás SF<sub>6</sub> para isolamento

adicional em AT (Chudnovsky, 2017). Os isoladores de travessia envelhecem devido aos esforços térmicos provenientes da carga envolvida. A maioria das avarias devem-se à entrada de água ou humidade para o interior do isolador de travessia através de fugas, o que reduz a sua capacidade de isolamento para o exterior. Outros modos de falha incluem a danificação do invólucro exterior (porcelana particularmente em desvantagem) por vandalismo (pedras), transporte, instalação ou o impacto de partes de outros equipamentos danificados e também a deposição de contaminantes no exterior do invólucro, que permitem a condução de eletricidade e anulam o propósito do equipamento. Os isoladores de travessia, dependendo do seu tipo podem explodir com violência ou levar a danos catastróficos dos transformadores, por vezes até explosões e incêndios. São também usados noutros equipamentos, como disjuntores, e através de paredes, etc. São elementos que podem ser substituídos (Chudnovsky, 2017).

Em relação ao tanque que engloba o óleo mineral, os enrolamentos e o núcleo, sendo metálico, o principal mecanismo de falha é a corrosão, cujo grau é determinado pela idade e ações de manutenção preventiva. Também é necessária a inspeção de fugas. Um ensaio fundamental e cuja realização e interpretação é alvo de constante evolução é a análise do óleo de isolamento e dos gases aí dissolvidos, que além de dar indicações sobre a condição do óleo como isolador e elemento de arrefecimento, também dá indicação sobre o estado de degradação do isolamento dos condutores dos enrolamentos. O óleo pode ser tratado, sangrado ou substituído (Tjernberg, 2018).

Segundo os estudos referidos por Tjernberg (2018), o elemento em que ocorrem mais avarias que levam à interrupção de serviço do transformador é o comutador de tomadas em serviço nos transformadores que o possuem, seguido pelos enrolamentos e os isoladores de travessia. Em geral, as principais causas de avaria incluem o envelhecimento devido à acumulação de situações de sobrecarga e curto-circuito, defeitos de fabrico e de fase de projeto, falhas dos materiais, manutenção mal realizada, descargas atmosféricas, anomalias noutros elementos e erros de instalação (Tjernberg, 2018).

A estratégia de manutenção normalmente aplicada baseia-se num misto de manutenção preventiva, RCM e CBM, tendo em conta os fatores mencionados anteriormente e outros, envolvendo inspeções, ensaios, monitorização de condição em tempo real e reparações (Tjernberg, 2018).

A utilização de óleo mineral como isolamento e arrefecimento é um dos pontos fracos dos transformadores de potência, pois é nocivo para o meio ambiente caso se deixe

penetrar no solo ou meio aquático e constitui um risco para a segurança de pessoas e bens, pois pode dar origem a incêndios e explosões (Tjernberg, 2018). Não obstante, não deixa de ser o principal tipo de transformador de potência em utilização (CIGRE Study Committee B3, 2019).

A principal alternativa aos transformadores de potência a óleo são os transformadores sem óleo (“transformadores a seco”). Estes contam apenas com o ar para dissipar o calor, pelo que, para uma mesma potência, são de dimensões superiores, mais pesados e produzem mais som em funcionamento do que os transformadores a óleo – tipicamente apenas são usados para a transformação MT-BT. No entanto, não apresentam risco de incêndio ou explosão (podem ser colocados dentro de edifícios contendo pessoas), o que diminui os custos de inspeção e manutenção, nem possuem materiais nocivos, pelo que a sua eliminação é mais simples e barata (Kern, 2018).

Outra alternativa são os transformadores isolados a gás SF<sub>6</sub>, o qual realiza a mesma função de arrefecimento e isolamento do óleo, mas evitando o risco de fogo e de explosão, permitindo a sua instalação perto ou debaixo de locais com pessoas, aproveitando espaço subterrâneo. Normalmente apenas são usados em subestações isoladas a gás de modo a conceber subestações de área reduzida, pelo que são uma escolha favorável nas mesmas situações referidas em 4.4.1.1. A quantidade de gás necessária é muito elevada, pelo que devido aos mesmos requisitos de contenção do SF<sub>6</sub>, o uso destes transformadores é pouco difundido (CIGRE Study Committee B3, 2019).

A modelação do tempo de vida dos transformadores é difícil, pois são ativos com vidas úteis longas, cuja reparação ou substituição normalmente é realizada preventivamente para melhorar a fiabilidade da rede ou para aumento de capacidade de carga, antes do fim de vida do transformador (CIGRE TB 761, 2019). Adicionalmente, em alguns casos são concebidos por medida e têm diferentes potências, tensões e níveis de carga, pelo que nessas situações a generalização é dificultada (Tjernberg, 2018).

#### 4.4.1.3. Equipamentos de proteção

Os disjuntores são aparelhos mecânicos com a função principal de interrupção de circuitos para a proteção elétrica de outros equipamentos, sendo capazes de estabelecer, suportar e interromper correntes nas condições normais do circuito e também em condições anormais de defeito especificadas para o circuito, como correntes de curto-circuito (Lakervi *et al*, 1995). Devido à função de proteção e ao facto de

normalmente serem o último elemento antes das linhas de saída dos postos, são elementos críticos das redes de distribuição, especialmente em redes radiais (Brown, 2009). Adicionalmente, caso um disjuntor não dispare quando não necessário, proteções a montante irão disparar em alternativa, provocando a interrupção de serviço a ainda mais clientes (Brown, 2009).

Os disjuntores surgem sob vários tipos, tendo em conta as tensões envolvidas e as correntes necessárias de interromper. Como meio de extinção do arco elétrico, os disjuntores mais comuns em AT usam óleo, vácuo e SF<sub>6</sub> (mesmo em subestações isoladas a ar, devido à elevada capacidade de extinção do arco). Em MT é comum usar-se tecnologia de vácuo e SF<sub>6</sub>. A vantagem de usar o vácuo sobre o SF<sub>6</sub> passa principalmente por não ter impacto no ambiente, mas as exigências de estanquidade e a fiabilidade são semelhantes. Em BT, o ar é suficiente como meio de extinção, mas por vezes, para cargas elevadas, é utilizado ar comprimido, ímanes permanentes ou vácuo para deslocar e extinguir o arco mais rapidamente (Chudnovsky, 2017).

Em AT e MT os disjuntores normalmente são operados através de motor, circuitos hidráulicos ou pneumáticos e controlados através de automação externa, incluindo a utilização de transformadores de intensidade. Em BT, são normalmente controlados e operados por meios eletromecânicos incluídos no próprio disjuntor (Short, 2014).

Quando atuados e os contactos no interior do disjuntor são separados é formado um arco elétrico que tenta manter a ligação elétrica, cuja persistência depende da tensão, corrente e tipo de carga, o que provoca desgaste dos contactos e contaminação da câmara de corte, levando ao mau funcionamento do disjuntor. Para prevenção, em BT são utilizados contadores de manobras ou o tempo de utilização como parâmetros para planeamento de inspeções de erosão. Em MT, a abordagem é mais evoluída e é calculado o integral das correntes interrompidas para determinar o momento de inspeção. Em AT, a abordagem é ainda mais evoluída e é adicionalmente usada informação sobre tempo de vida, tempos de atuação (abertura e fecho), distância percorrida com arco ativo, entre outros, de modo a modelar o desgaste dos contactos, antes da realização de inspeções e manutenção preventiva, as quais requerem a retirada de serviço do disjuntor (Chudnovsky, 2017).

Conforme referem Blackmore *et al* (2015), as descargas parciais são a principal causa de falha dos disjuntores em MT e AT, podendo resultar em falha catastrófica. As descargas parciais resultam de mecanismos de falha que podem ser detetados usando

CBM, concretamente, através de técnicas de ultrassons e de equipamentos de detecção de picos de tensão transitórios induzidos nos circuitos de terra e que se revelam nos equipamentos metálicos circundantes.

Os religadores são disjuntores equipados com programação autónoma que, após detecção de um curto-circuito, disparam e após um tempo estabelecido voltam a religar; caso a situação se mantenha, repetem o procedimento um número determinado de vezes, após o que bloqueiam. Estes equipamentos são usados na expectativa de que algumas situações se resolvam por si mesmas, sem necessidade de interrupção permanente. São aplicados principalmente na proteção de linhas aéreas, em cuja situação a estatística diz que a maioria das situações anómalas são temporárias e resolvem-se por si mesmas (por exemplo, ramos caídos ou animais que são eletrocutados). Para aumentar adicionalmente a continuidade de fornecimento, por vezes são concebidos com corte individual de fases, em oposição ao corte das três fases simultaneamente. O seu poder de corte por norma é inferior ao dos disjuntores convencionais, pelo que são mais utilizados em redes MT (Short, 2014).

Os fusíveis são uma alternativa aos disjuntores como equipamento de proteção, sendo muito mais baratos, simples, sem necessidade de elementos adicionais ou energia externa para atuar e ocupam menos espaço. O grande inconveniente é serem de uso único e a sua substituição ter de ser manual, impossibilitando o rearme automático ou à distância, o que aumenta grandemente o tempo de interrupção de serviço (Short, 2014). São mais rápidos a atuar do que os disjuntores, mas apenas na proteção contra curto-circuitos, são praticamente imunes a sobrecargas. Por esse motivo, são principalmente usados nas redes MT e BT para proteção rápida contra descargas atmosféricas, em particular à entrada das instalações dos clientes (Short, 2014).

Uma alternativa reutilizável para proteção de equipamentos nos postos elétricos contra descargas atmosféricas (mas não contra outras situações menos graves e menos bruscas de aumento do nível de tensão) são os descarregadores de sobretensões: resistências não-lineares de elevado valor ao nível de tensão para que estão concebidos, mas valor muito reduzido a tensões superiores, em cujo caso fecham um curto-circuito à terra. Após a descarga atmosférica, retornam ao seu estado inicial de resistência elevada. São usados mesmo em zonas de baixa incidência de descargas atmosféricas pois, mesmo onde a probabilidade de uma tempestade é de 1 em 40 anos, tal é suficiente para danificar grande parte de uma rede. Concebidos em invólucro de porcelana ou polímero, o principal

modo de falha deve-se à infiltração de humidade, outros modos sendo: descargas acima da capacidade do descarregador, descargas sucessivas e a danificação do invólucro devido a influências externas. São normalmente usados até à sua avaria ou substituição, não costumam ser reparados (Short, 2014).

#### 4.4.1.4. Equipamento de manobra

Os equipamentos base de manobra são os seccionadores e os interruptores, usados para isolar equipamentos da rede ou reconfigurar a mesma. Os seccionadores não podem ser manobrados em carga, pelo que são mais baratos, no entanto após abertos estabelecem o isolamento de forma visível, pelo que são utilizados como confirmação de segurança para os trabalhadores da rede. Os interruptores podem ser manobrados em carga, mas não em condições anormais de defeito, pois não têm poder de corte para correntes ao nível de curto-circuito, pelo que são usados para manobras em carga sem ter de recorrer a disjuntores (aumentando o tempo de vida útil destes últimos). Também existem equipamentos com as características de ambos – interruptores-seccionadores (Short, 2014).

Os interruptores, apesar de tipicamente não serem um ativo crítico do ponto de vista da segurança de fornecimento, podem representar um perigo para a segurança de pessoas quando operados manualmente. Nos postos de média tensão, em operação manual o operador está a curta distância dos contactos. Em caso de mau funcionamento em que os pólos prendem na posição fechada ou demoram mais do que o normal a abrir, o corte de energia não ocorre, levando a aumento da temperatura e pressão no equipamento. Tal é um risco principalmente em interruptores expostos, não contidos em celas. Este risco pode ser minorado através de inspeção e manutenção, cujo planeamento deve ter em conta as condições adversas, como elevada idade do equipamento e presença de sujidade (Catrinu *et al*, 2010).

#### 4.4.1.5. Transformadores de intensidade e de tensão

São os equipamentos utilizados para medir os valores de intensidade de corrente e de tensão da rede em que estão inseridos, algo que não pode ser realizado diretamente por relés, equipamentos de contagem de energia, sistemas de automação de proteção e sistemas de monitorização, pois são equipamentos que não suportam os valores elevados de tensão e corrente da rede. O seu princípio de funcionamento é o mesmo que o do

transformador de potência, mas a potência envolvida é reduzida ao mínimo, pelo que são equipamentos muito mais reduzidos, baratos e menos destrutivos (Brown, 2009).

No entanto, tendo em conta a sua função de monitorização permanente das condições operacionais elétricas, são vitais para o funcionamento dos ativos de suporte e, em consequência, o funcionamento dos equipamentos de proteção em MT e AT (Brown, 2009).

#### 4.4.1.6. Equipamentos de compensação de energia reativa

Uma das necessidades das redes de distribuição é o controlo da energia reativa, através da compensação do fator de potência. A energia reativa é necessária para produzir o fluxo magnético em alguns equipamentos, no entanto, ao contrário da energia ativa, não produz trabalho. O seu aumento leva ao aumento da corrente que, além de aumentar a solicitação à geração, leva ao aumento de perdas por aquecimento, quedas de tensão e exige transformadores de potência de maior capacidade (Brown, 2009).

A necessidade de energia reativa provém não só dos equipamentos indutivos dos clientes, mas também dos transformadores de potência da rede. Por esse motivo, os clientes que não em BT são incentivados a realizar a compensação do fator de potência, através de tributação de energia reativa consumida, com o intuito de reduzir a solicitação à rede (E-Redes, 2018).

Para otimizar os seus ativos e reduzir perdas e consequentemente a solicitação à geração, é necessária compensação do fator de potência nas redes de distribuição. Para tal, são normalmente empregues bancos de condensadores nos postos elétricos onde necessário, os quais possuem várias etapas de ajuste, mas não permitem uma regulação refinada (CIGRE Study Committee B3, 2019).

Outras alternativas que o permitem são: os compensadores estáticos, constituídos por equipamentos de eletrónica de potência, condensadores e indutores, com a desvantagem de requerem filtros de perturbações harmónicas; e os compensadores síncronos, motores síncronos sem carga mecânica acoplada, com maior capacidade de regulação que os bancos de condensadores, mas maiores perdas.

#### 4.4.2. Linhas

As linhas são o que Hastings (2015) designa por ativo linear. Um ativo linear é longo e consiste numa série de secções pouco dispendiosas, mas que desempenham uma

função valiosa com elevado impacto se interrompida. As suas características gerais são: custo inicial elevado, custos operacionais reduzidos; secções do ativo são rápidas de reparar, mas a substituição ou atualização do ativo são difíceis de agendar, devido às necessidades de disponibilidade; situações de falha são intempestivas, tratadas com prioridade urgente e situações repetitivas são inaceitáveis. Para a decisão de substituição ou atualização podem ser definidas situações limite, como taxa de falhas (como avarias por quilómetro por ano), risco de falhas incluindo análise de impacto ou análise de custos anuais, através da comparação de custos devidos ao incumprimento de objetivos de continuidade de serviço com o VAL no caso de substituição

#### 4.4.2.1. Aéreas vs. subterrâneas

Uma das principais questões na seleção de linhas é a escolha entre linhas aéreas e linhas subterrâneas, as alternativas mais utilizadas nas redes de distribuição (Short, 2014).

Em comparação com as linhas subterrâneas, as linhas aéreas têm as principais vantagens de requerer menor investimento de capital, de ser mais fácil e rápida a deteção e reparação de avarias, de possuírem maior tempo de vida útil e de serem mais capacitadas para suportar sobrecargas (Short, 2014). No entanto, têm a desvantagem de estar expostas a fenómenos e agentes externos, o que lhes confere uma maior taxa de falhas (Short, 2014). De notar que as avarias muitas vezes são temporárias, ao contrário das que ocorrem nas linhas subterrâneas que costumam ser permanentes e requerer manutenção (Marelli *et al*, 2019). A principal estratégia de manutenção é o controlo de condição através de inspeções periódicas (Short, 2014).

Como refere Short (2014), a principal vantagem das linhas subterrâneas é o menor impacto visual e ambiental, o que as torna mais aceites pelos proprietários dos terrenos onde são instaladas e o público em geral, e facilita a decoração urbana com árvores, etc. Outras vantagens incluem maior segurança para o público em geral (as linhas estão inacessíveis) e os menores custos de manutenção preventiva no que diz respeito ao corte e desbaste de vegetação (por vezes a maior fatia do orçamento de manutenção do ORDEE (Márquez *et al*, 2020b)). As linhas subterrâneas têm ainda a desvantagem de consumirem mais energia reativa, o que aumenta a necessidade de aplicar equipamentos de compensação (ver ponto 4.4.1.6) (Marelli *et al*, 2019).

Conforme referem Marelli *et al* (2019), outro fator com impacto na decisão é a rota da linha: se está disponível ou tem ou terá obstáculos intransponíveis por um ou outro

método; se está prevista urbanização; a nível subterrâneo, se estará em conflito com outras infraestruturas subterrâneas, como fornecimento de água, águas residuais, gás; e se o terreno é desnivelado ou possui muitas colinas aumentam os desafios técnicos e custos.

Outros fatores que influenciam a viabilidade ou aumentam os custos de linhas subterrâneas, conforme referem Marelli *et al* (2019), incluem: a condutividade térmica (pior que a do ar) e a temperatura do solo prejudicam a capacidade de dissipar calor; possibilidade de cheias; a presença de humidade no solo; correntes elevadas produzem campos magnéticos elevados (mais do que em linhas aéreas), o que, seguindo as recomendações para limitação de exposição de pessoas a estes campos, pode inviabilizar uma linha.

Em resumo, linhas subterrâneas são a alternativa mais preferida em meio urbano, enquanto que em meio rural ou suburbano é preferida a construção aérea (Short, 2014).

#### 4.4.2.2. Condutores

Ao nível da distribuição, as linhas costumam ser estabelecidas em cabo nu (linhas aéreas AT e MT) ou em cabo isolado (em linhas subterrâneas AT e MT e em BT em qualquer situação).

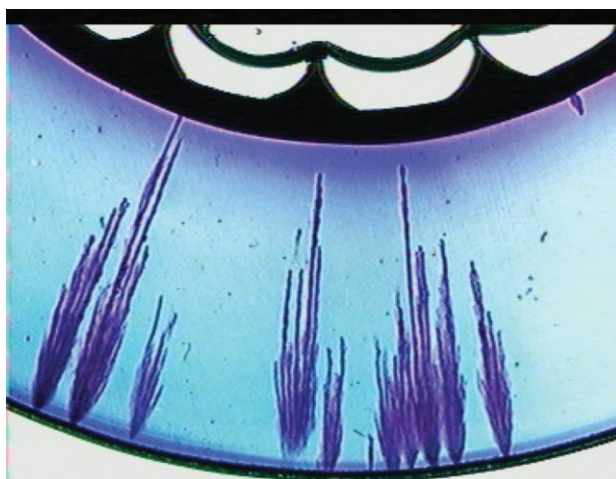
Os condutores suportam a sobrecarga, mas tal depende da sua duração, pois em sobrecarga a temperatura do condutor aumenta, o que pode originar recozimento do metal e aumentar a sua flecha, o que pode levar à violação de distâncias de segurança de isolamento ou à queda do cabo e à necessidade de substituição. Acessórios como ligadores também estão sujeitos à deformação ou destruição devido a sobrecargas (Chudnovsky, 2017).

Como condutor, o material mais utilizado nas linhas aéreas da infraestrutura pública de distribuição elétrica é o alumínio pois, apesar de pior condutor que o cobre, possui melhor rácio de capacidade de transporte de energia em função do preço e do peso e também possui boa resistência à corrosão. Por vezes, o alumínio é reforçado com aço, quando é necessária força mecânica adicional, por exemplo com cabos mais pesados devido a maior diâmetro (e capacidade de carga) ou maior distância entre apoios (Short, 2014).

Em linhas subterrâneas, não se coloca o problema do peso nem a resistência à corrosão (utilização de cabos isolados), pelo que o cobre é por vezes o material selecionado devido à maior capacidade de condução, o que por sua vez permite usar cabos

de menor diâmetro e, em combinação com a maior ductilidade do cobre, facilita a sua instalação (Short, 2014).

Em relação ao isolamento, quando presente, o material mais aplicado atualmente nos cabos das redes de distribuição é o polietileno reticulado, por ser resistente aos raios ultravioleta, ter boa resistência ao fogo, isento de halogéneo e fácil de processar e manusear, sendo também usado o policloreto de vinilo e o polietileno. Na prática, o isolamento mais comum de encontrar é o papel impregnado com óleo mineral, pois foi o material primeiro usado e estes cabos são bastante resilientes (em uso ainda alguns cabos da década de 1940). O envelhecimento do isolamento é provocado pelas condições ambientais e pelos esforços mecânicos e elétricos, em particular em situações de sobrecarga ou curto-circuito que levam ao sobreaquecimento do cabo, que por sua vez leva a alterações químicas. A causa mais comum de falha dos cabos com isolamento em material polimérico tem origem no esforço elétrico provocado pelas descargas parciais, a sua incidência devendo-se a defeitos de fabrico ou durante a instalação. Outros incluem a ocorrência de árvores aquosas ou elétricas, que consistem na formação de canais no isolamento (ver **Figura 4.6**) devido à presença de humidade ou contaminantes condutores, respetivamente, introduzidos durante o fabrico ou devido ao meio envolvente ou danos mecânicos durante a implantação e utilização, sendo o crescimento desses canais fomentado pelo nível de tensão, temperatura e desgaste mecânico do cabo. Falhas de isolamento podem levar à interrupção do fornecimento, mas é prática comum substituir secções de cabo afetadas (Chudnovsky, 2017).



**Figura 4.6.** Crescimento de árvores aquosas em isolamento polimérico de cabo (Tjernberg, 2018).

#### 4.4.2.3. Apoios (Postes) de linhas aéreas

Os materiais mais utilizados para os apoios das linhas aéreas das redes de distribuição variam de país para país por razões históricas, materiais disponíveis e condições atmosféricas típicas, mas são principalmente o betão armado, aço galvanizado (em treliça ou tubos) e a madeira tratada e em alguns locais materiais compósitos. Em algumas infraestruturas, os apoios de madeira são os ativos mais antigos, pois eram o material preferido no início do estabelecimento das redes de distribuição e possuem um longo período de vida útil, o que constitui um risco de segurança e fiabilidade e representam maiores custos de manutenção, pois requerem mais inspeções pois são mais suscetíveis à deterioração (Brown, 2009).

A conceção dos apoios de uma linha aérea depende de vários fatores (Marelli *et al*, 2019), principalmente: o diâmetro dos condutores, que afeta o seu peso; as distâncias de segurança necessárias, afetam a altura do apoio; e condições atmosféricas (vento e neve aumentam os esforços mecânicos).

Os condutores são isolados dos postes através de isoladores fabricados em vidro temperado, porcelana ou outros materiais compósitos com resistência mecânica e isolamento elétrico apropriados (Marelli *et al*, 2019).

#### 4.4.2.4. Acessórios

O cabo de guarda é um cabo nu condutor instalado nos apoios acima dos condutores de fase, ligado à terra através dos apoios quando em material condutor ou de um condutor de proteção. A sua função é interceptar as descargas atmosféricas evitando que atinjam os condutores de fase, protegendo equipamentos e evitando interrupções no fornecimento de energia. Para o seu funcionamento adequado, é necessária uma ligação à terra de baixa resistência em todos os apoios, caso contrário, na ocorrência de uma descarga atmosférica, o potencial do cabo de guarda aumenta (por exemplo, numa ligação com resistência de  $20 \Omega$  ao receber uma descarga reduzida de 20kA, o potencial sobe para 400kV) e pode originar um arco elétrico aos condutores de fase. Por esse motivo, na rede de distribuição apenas costuma ser usado em linhas AT e MT em zonas de elevada incidência de descargas, sendo necessária a monitorização da qualidade da ligação à terra, além do estado do cabo de guarda em si (Short, 2014). Hoje em dia, os cabos de guarda são instalados contendo um cabo de fibra ótica no seu interior, de modo a terem a

função adicional de transmissão dedicada de informação sobre a rede de distribuição (Marelli *et al*, 2019).

#### **4.4.3. Ativos de suporte**

Os ativos dos sistemas de automação dos postos elétricos fazem parte do sistema de Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*) da rede e destinam-se à proteção dos elementos da rede, operação da rede (automática ou controlada individualmente) e monitorização de parâmetros como tensão e frequência e atuar em concordância quando os limites estabelecidos são violados (Vu *et al*, 2018). Estes sistemas incluem controladores de lógica programável, sensores e aparelhos de medida (incluindo os transformadores de intensidade e de tensão), atuadores (relés, contactores, etc.) e as ligações a equipamentos capazes de realizar as funções mencionadas, como transformadores com tomadas, bancos de condensadores, disjuntores, entre outros. Conforme referem Vu *et al* (2018), segundo a perspetiva da segurança funcional, os equipamentos destes sistemas estão normalmente ligados em série, pelo que devem ser considerados individualmente em termos de risco para o sistema (considerar idade individual em vez de idade média, etc.).

Vu *et al* (2018) referem que a avaria ou mau-funcionamento destes sistemas pode não resultar obrigatoriamente em falhas de fornecimento de energia ou pode não ser detetado e sinalizado, podendo passar despercebido, sendo necessárias inspeções periódicas. Apesar de não resultar sempre em falha de fornecimento, resulta em falha de funcionalidades de proteção e controlo da rede, como refeito automático, controlo automático e de emergência de tensão, sinalização e atuação de proteção, SCADA, etc.

Segundo o estudo referido por Vu *et al* (2018), quando em condições atmosféricas não agressivas, os equipamentos à base de eletrónica e microprocessadores possuem elevada disponibilidade nos primeiros 10 anos, a qual reduz gradualmente até aos 15 anos, após o que reduz rapidamente. Tal deve-se principalmente à obsolescência dos equipamentos, visto que, devido à atual rápida evolução tecnológica, um equipamento que avarie depois desse tempo pode não ser diretamente substituível e pode ser necessário procurar outras soluções.

O próprio sistema SCADA pode ser visto como um ativo, com parte tangível e intangível. Tipicamente são utilizadas soluções padrão para a conceção do sistema SCADA das subestações. Dada a quantidade de ativos e a distribuição geográfica das

redes de distribuição, o valor introduzido pelas capacidades de monitorização da utilização da rede, processamento e de controlo do sistema SCADA torna-o um ativo de elevada criticidade para a otimização de decisões dos ORDEE. Conforme referido por Smith *et al* (2021), tal exige a conceção de uma rede de comunicações de banda larga, sendo que duas tecnologias são predominantemente utilizadas: fibra ótica e Evolução a Longo Prazo (LTE – *Long Term Evolution*), sendo que os custos superiores da fibra ótica apenas a tornam uma alternativa mais favorável em aplicações com elevadas necessidades de velocidade de troca de informação, como na automação da resposta a avarias nas redes AT e MT. Os sistemas SCADA por vezes são concebidos a dois níveis, da subestação e ao nível da rede (Vu *et al*, 2018).

Ao nível dos ativos de contagem, para efeitos de faturação e/ou apenas controlo, além da sua função principal, a utilização de “contadores inteligentes” (capacitados para recolher e transmitir informação de consumo em função do tempo) permite a recolha de informação útil para a atividade de gestão de ativos, como o dimensionamento de transformadores de potência e o melhoramento do planeamento de manutenções, ao criar um registo de carga (Dorr *et al*, 2016). Alguns contadores inteligentes possuem capacidades úteis para outros aspetos da atividade dos ORDEE, como a identificação de padrões de consumo, detetar situações de manipulação por clientes e detetar e quantificar mais exatamente ao nível particular as situações de falha de fornecimento (Dorr *et al*, 2016).

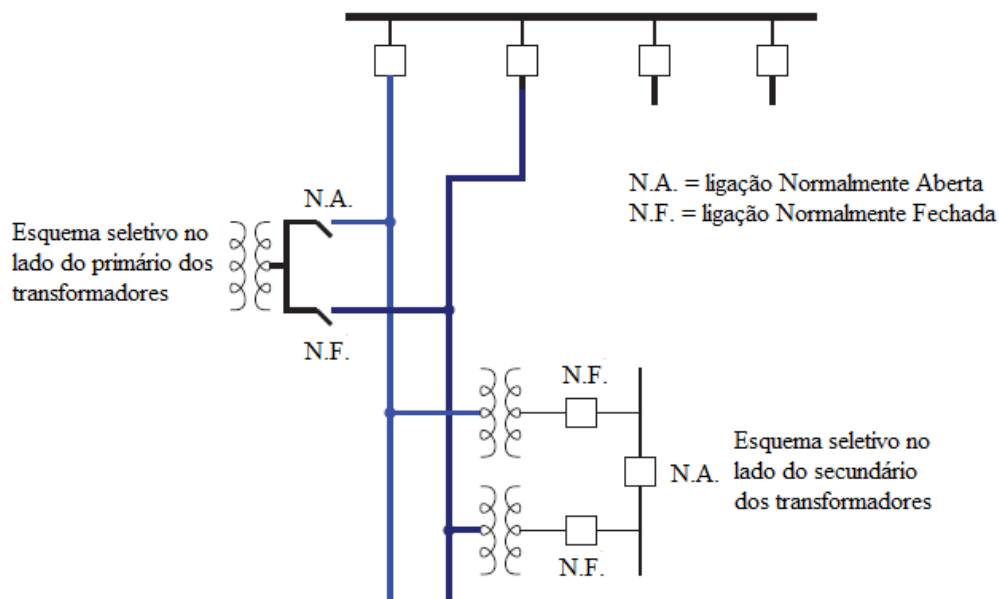
#### **4.4.4. Configuração da rede**

A rede de distribuição consiste num arranjo de postos e linhas, que formam assim a configuração da rede. Na prática existem várias opções padronizadas, cada com impacto diferente na fiabilidade da rede. A configuração é um aspeto que é importante observar na gestão dos seus ativos, pois é essencial para definir a criticidade dos ativos nas restantes atividades da gestão de ativos.

Uma vez que o número de clientes ligados vai diminuindo à medida que se reduz o nível de tensão, também as exigências de fiabilidade vão reduzindo, o que afeta as escolhas de configuração da rede (Short, 2014). Uma rede de tensão mais elevada necessita de mais interruptores, mais automação, mais monitorização e manutenção das linhas e mais caminhos alternativos ou outras redundâncias para manter o mesmo nível de fiabilidade.

Em comparação com a rede de transmissão, a rede de distribuição possui muitos mais ativos e pontos de entrega que necessitam de ser fornecidos com energia, pelo que é dispendioso conceber todos os circuitos com regime de contingência n-1. A forma menos dispendiosa e mais comum de aumentar a fiabilidade da rede consiste na exploração radial em regime nominal, com caminhos alternativos, normalmente abertos, que são fechados em caso de falha. Em caso de falha, é alterado o estado dos dispositivos de corte ou seccionamento, de modo a reduzir o número de clientes afetados, pelo que os ativos são selecionados de modo a poder suportar esta situação pelo menos temporariamente (Short, 2014).

Existem outras configurações, como a da **Figura 4.7**, com maior fiabilidade criada por redundâncias. Estas opções permitem a alimentação por qualquer um de dois circuitos, sendo que é possível utilizar dispositivos de rápida comutação que reduzem uma eventual falha de energia a apenas um “pisca de luzes” devido à momentânea perda de tensão (Short, 2014). Tal obviamente representa um aumento de custos com equipamentos, pelo que é reservada para clientes críticos.



**Figura 4.7.** Configurações de maior fiabilidade – alimentação seletiva (Traduzido (Short, 2014)).

## 4.5. Desempenho das Redes de Distribuição – Avaliação e Melhoramento

Como referido em IEC (2015) e por Blackmore *et al* (2015), a principal medida de desempenho das redes de distribuição é a continuidade de serviço, conforme defendido

pelas entidades reguladoras e em alinhamento com as necessidades e expectativas dos clientes. Ao nível técnico, outra vertente de medida de desempenho utilizada é a qualidade da energia elétrica fornecida. Como é visto em seguida, em ambos os casos, tal tem forte dependência da condição dos ativos da rede e beneficia de uma abordagem estruturada, pelo que a sua otimização requer ir além de uma estratégia de manutenção genérica.

#### 4.5.1. Indicadores de desempenho de continuidade de serviço

Conforme referem Blackmore *et al* (2015), o desempenho de continuidade de serviço é afetado pelo número de interrupções de fornecimento, a porção da rede afetada e o tempo de restauração de serviço (duração da interrupção).

Conforme refere Brown (2009), existem vários indicadores de desempenho de continuidade usados internacionalmente, alguns inclusivamente definidos em norma na IEEE 1366. No entanto, como referido em IEC (2015), apesar de se usar a mesma definição para avaliar o desempenho da continuidade de serviço, o método de cálculo não é universal, por exemplo em alguns países excluem-se as interrupções de curta duração, interrupções agendadas ou interrupções devidas a catástrofes de grande impacto, o que dificulta o benchmarking entre operadores afetados por regulamentações diferentes.

Segundo Brown (2009), alguns dos indicadores mais utilizados internacionalmente estão relacionados com a fiabilidade de fornecimento aos clientes, sendo médias que pesam cada cliente igualmente, não diferenciando um cliente residencial de pouca potência de um cliente industrial. Alguns dos indicadores que consideram apenas as interrupções longas (superiores a 3 minutos) são:

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*, Índice de Duração Média das

$$\text{Interrupções do Sistema}) = \frac{\text{somatório da duração de interrupções}}{\text{número total de clientes}} \quad (\text{eq. 1});$$

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*, Índice de Frequência Média das

$$\text{Interrupções do Sistema}) = \frac{\text{número total de interrupções}}{\text{número total de clientes}} \quad (\text{eq. 2}).$$

Como refere Brown (2009), os principais indicadores apenas consideram interrupções longas pois o tempo de 3 minutos por norma é suficiente para reconfigurar uma rede através de automatismos e restaurar o serviço ou isolar zonas em falha, o que é útil para os ORDEE visto que a ocorrência de falhas é inevitável, mas a sua mitigação não, assim reduzindo a necessidade de compensações a clientes. Outro indicador bastante usado, devido ao aumento de cargas sensíveis a interrupções mesmo que breves é o:

- MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index*, Índice de Frequência Média das Interrupções Breves) = 
$$\frac{\text{número total de interrupções breves}}{\text{número total de clientes}} \quad (\text{eq. 3}).$$

Segundo Brown (2009), por vezes a priorização de investimentos de fiabilidade é determinada pelos ORDEE através da elaboração de um problema de otimização do SAIDI, sendo que, por norma, os investimentos daí resultantes melhoram também o SAIFI e o MAIFI. No entanto, estes indicadores, que usam como denominador o número total de clientes, têm o problema de que quando são usados isoladamente para melhoramento da fiabilidade direcionam os investimentos para circuitos que alimentam muitos clientes individuais, como centros urbanos, cuja fiabilidade por vezes já é elevada devido à existência de redundâncias e caminhos alternativos e, assim, não resultam num melhoramento da fiabilidade para todos os clientes.

No caso específico de Portugal, os indicadores gerais das redes e individuais e os respetivos padrões (quando aplicáveis) utilizados são indicados no RQS (ERSE, 2021b) e a sua forma de cálculo está descrita detalhadamente no MPQS (ERSE, 2021a). Além dos indicadores já mencionados, em Portugal utilizam-se ainda os seguintes, referentes a interrupções longas medidas nos postos de transformação:

- TIEPI (Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada) = 
$$\frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^x DI_{ij} \times PI_j}{\sum_{j=1}^k PI_j}$$

(eq. 4), em que:  $DI_{ij}$  é a duração da interrupção  $i$  no posto de transformação  $j$ ,  $PI_j$  é a potência instalada nesse posto,  $k$  é o total de postos de transformação e  $x$  o número de interrupções longas no posto de transformação  $j$ ;

- END (Energia Não Distribuída) = 
$$\frac{TIEPI \times \text{energia distribuída à rede MT}}{\text{tempo considerado}} \quad (\text{eq. 5}).$$

Ao nível geral, em AT utiliza-se o SAIFI, SAIDI e MAIFI, em MT utiliza-se adicionalmente o TIEPI e a END e em BT utiliza-se apenas o SAIFI e o SAIDI, contabilizando a totalidade dos consumidores e ligações a outras redes. Para a generalidade dos produtores utiliza-se o SAIFI, SAIDI e MAIFI. São definidos padrões gerais anuais para o SAIFI e o SAIDI que devem ser cumpridos nas redes MT e BT, considerando apenas as interrupções acidentais longas e excluindo eventos excepcionais, definidos como eventos de baixa probabilidade, que individualmente causam diminuição significativa da qualidade de serviço, que a sua total prevenção não seja economicamente viável e que os mesmos e as suas consequências não sejam imputáveis aos ORDEE.

Ao nível individual, o RQS (ERSE, 2021b) define que se deve determinar, para cada cliente e cada ligação a outras redes, o número de interrupções e a duração total das interrupções. São definidos padrões anuais para ambas as medidas, para todos os clientes, em todas as redes (todos os níveis de tensão), considerando também somente as interrupções acidentais longas, cujo incumprimento dá direito aos clientes a compensação.

De notar que os padrões são mais exigentes quanto maior é o nível de tensão, o que deve ser tido em conta na análise de criticidade dos ativos pois tem efeito nas compensações devidas.

O tempo de restauração de serviço está relacionado com a logística de manutenção (como definida na NP-EN 13306, 2007), ou seja, beneficiará de um sistema de gestão apropriado com análise das necessidades de recursos, sujeito a avaliação e melhoria contínua.

#### **4.5.2. Principais causas de interrupção de serviço e sua mitigação**

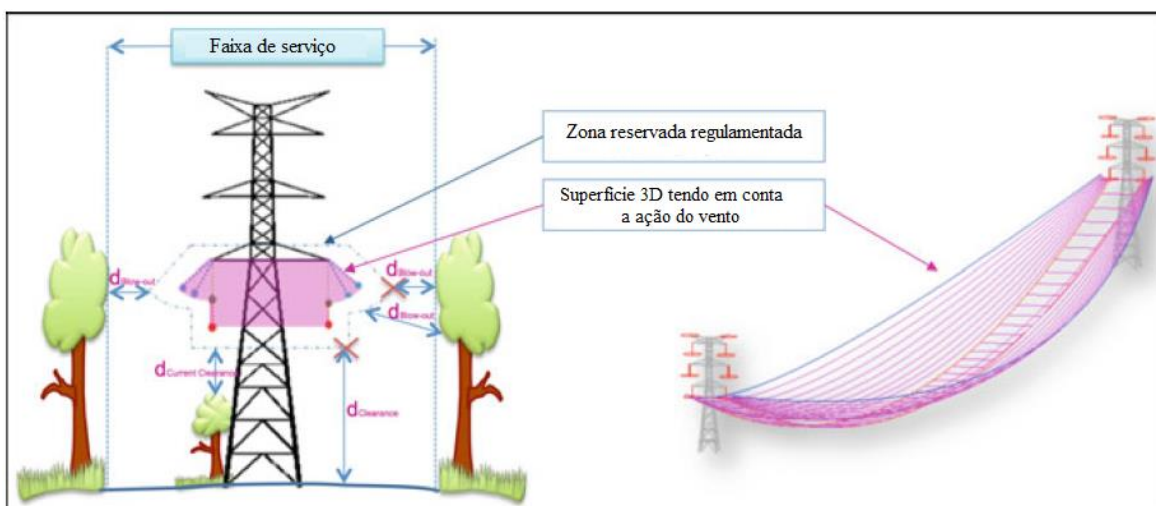
As interrupções de fornecimento ocorrem devido a: avarias em partes da rede sem redundâncias; atuação indevida de aparelhos de proteção devido a avaria do mesmo, dos relés ou do sistema de comando, isolando partes da rede sem redundâncias; e interrupções planeadas numa seção da rede sem redundâncias (Masoum *et al*, 2015). Como tal, a redução de duração e quantidade de interrupções consegue-se através da mitigação das causas e o reforço da rede de distribuição. Tal como já mencionado em 4.2, as várias opções de tecnologias de ativos possuem diferentes características de fiabilidade e manutibilidade, pelo que a seleção de ativos e acompanhamento da evolução tecnológica também têm influência neste aspeto.

Segundo Brown (2009), as causas das avarias na distribuição estão dependentes do contexto das redes (poluição, modo predominante de instalação de linhas subterrâneas ou aéreas, existência de vida selvagem, etc.), pelo que não existe conformidade ao nível global entre quais são as causas principais. Em (Brown, 2009) refere-se que as causas principais mais comuns são a degradação da condição dos ativos da rede e as influências externas como árvores, condições atmosféricas e animais.

Em relação a avarias devidas à condição dos ativos, as mesmas, como em todos os ativos, acontecem em todas as fases do ciclo de vida (Brown, 2009). Na fase inicial após instalação, sem contar com erros de projeto, surgem avarias devido a defeito de

fabrico, danos no transporte ou erros de instalação. Durante a vida útil, um equipamento em perfeita condição pode avariar devido a correntes ou tensões superiores à capacidade do equipamento ou devido a influências externas, como animais, descargas atmosféricas ou erro humano durante ações de manutenção. Outros equipamentos avariam por envelhecimento devido à acumulação de situações de sobrecarga, falhas de isolamento envelhecido, decomposição química ou contaminação. Os principais modos de falha são explorados no ponto 4.4.

As árvores constituem um problema para linhas aéreas. A gravidade do problema leva à definição de distâncias de segurança às árvores em documentos regulamentares (**Figura 4.8**), por exemplo em Portugal definidas no Decreto Regulamentar nº 1/1992. Como refere Brown (2009), as árvores são um problema quando ramos caem em cima de linhas e provocam danos mecânicos ou quando provocam curto-circuitos em condutores nus que fazem disparar as proteções das linhas, o que acontece quando o crescimento ou o vento empurram ramos que aproximam dois condutores ou quando um ramo se parte e o próprio forma um curto-circuito entre fases. De referir que esta última circunstância só costuma ser problema em tensões superiores a 15 kV, pois os ramos (novos ou velhos) só por si não são materiais condutores, é necessária a ocorrência de um processo físico-químico.



**Figura 4.8.** Exemplo de faixa de serviço de linha aérea (Traduzido (Márquez *et al*, 2020b)).

Conforme referido por Márquez *et al* (2020b), a atividade de desbaste e corte de árvores e outra vegetação pode ser muito onerosa, dependendo da quantidade de linhas aéreas afetadas – em alguns casos é a atividade de manutenção de maiores custos (Brown, 2009). Para gerir esse custo e determinar a frequência de intervenções é necessário

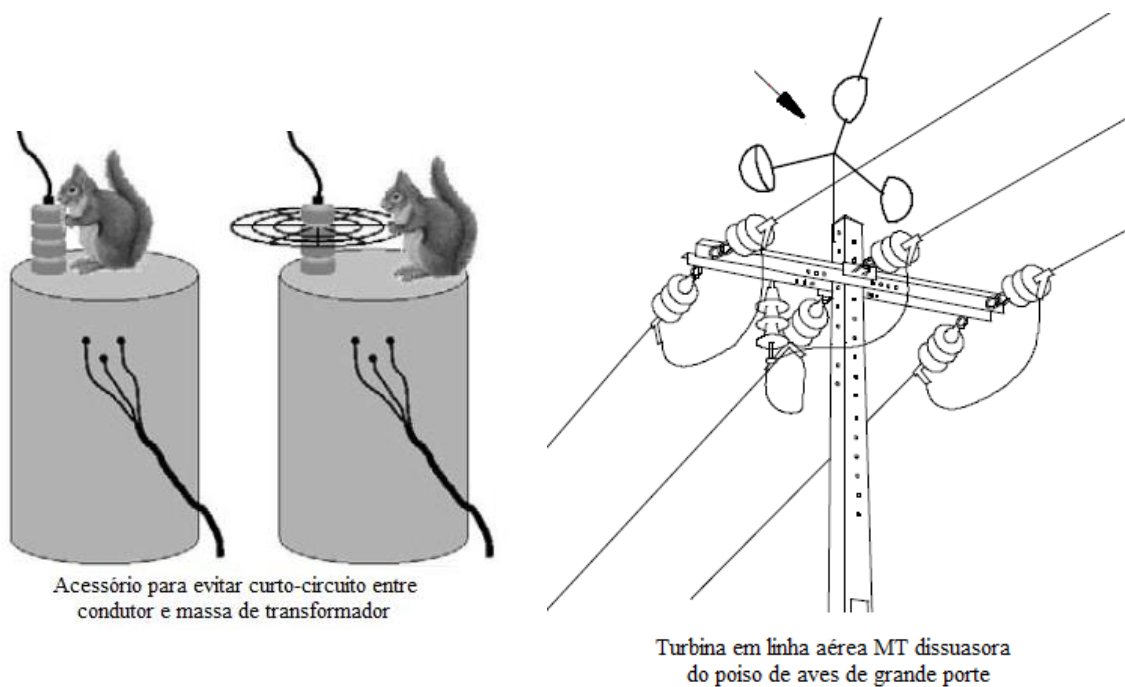
recolher e organizar informação acerca dos locais onde tal pode ser um problema, incluindo informação específica sobre as espécies envolvidas, incluindo o ritmo de crescimento, a força da madeira e a altura máxima. Esta questão pode afetar muitos ativos (200 mil ativos em Espanha no caso referido por Márquez *et al* (2020b)), pelo que é necessária uma abordagem automática para analisar o risco, elaborar estratégias de manutenção e priorizar atividades em instalações existentes e que também deve ser tida em conta na fase de conceção (seleção de caminhos alternativos, escolha de modo de instalação, etc.).

Além do custo e do efeito na fiabilidade, o controlo de árvores também afeta a reputação dos ORDEE na sociedade, pois as pessoas podem responder negativamente ao tratamento das árvores, aos incómodos provocados pelas equipas em trabalho ou ao aspeto visual final (Brown, 2009). Além disso requer competências específicas.

Em relação às condições atmosféricas, a principal causa de interrupção e danificação de ativos são as descargas atmosféricas, mas tal também inclui a poluição, calor, incêndios, chuva, cheias, vento, neve, dependendo do contexto das zonas. O problema das avarias por condições atmosféricas é que vários ativos são afetados e podem avariar simultaneamente (Brown, 2009). Seguindo uma análise de contexto para determinar fatores presentes, as instalações (postos elétricos e linhas) podem ser selecionados e concebidos considerando as possíveis necessidades de sobrecarga ou de resistência às condições.

Como para as condições atmosféricas, a mitigação de avarias devidas a animais depende do contexto, neste caso dos animais envolvidos. Alguns animais procuram postos elétricos e cabos subterrâneos por abrigo e calor. Roedores roem o isolamento de cabos isolados provocando curto-circuitos. Animais trepadores como esquilos, cobras e ratos provocam curto-circuitos entre condutores nus, especialmente entre barramentos em postos elétricos em MT e BT em que as distâncias de isolamento são reduzidas. As aves são problemáticas em linhas aéreas e postos elétricos ao ar livre não só por os próprios provocarem curto-circuitos com a envergadura das asas, mas também devido aos ninhos que podem provocar curto-circuitos, aos excrementos que corroem isoladores e por atraírem predadores que por sua vez provocam curto-circuitos

Mediante a análise de contexto, os ativos podem ser concebidos com vedação adequada ou com acessórios específicos, como observado na **Figura 4.9**.



**Figura 4.9.** Exemplos de acessórios para evitar falhas causadas por animais, à esquerda num transformador (Brown, 2009) e à direita numa linha aérea (E-Redes, 2016).

Em suma, para mitigar as causas e duração de interrupções em instalações já existentes, em (E-Redes, 2018) destacam-se medidas a tomar, de modo geral, incluindo: aumento ou aperfeiçoamento de estratégias de manutenção preventiva e preditiva; monitorização e manutenção das zonas envolventes das linhas aéreas e postos elétricos exteriores; implementação e aperfeiçoamento de telecomando e automatismos de manobra das redes de resposta a falhas, de modo a acelerar a localização e isolamento das mesmas; e procura e inovação de soluções técnicas em zonas com mais interrupções.

O reforço da rede tem por vista desenvolver soluções mais robustas de configurações de postos e linhas, como já observado em 4.4, através da implementação de redundâncias em paralelo ou de caminhos alternativos criados por ligações normalmente abertas (Short, 2014).

Tendo em conta a quantidade de ativos, a sua distribuição geográfica e os diferentes modos de falha, para as medidas referidas contribui uma abordagem estruturada e sistemática, conforme os objetivos das ISO 5500x, de: análise de contexto e avaliação, monitorização e gestão de riscos; conceção de um sistema de informação capaz de organizar informação pertinente de modo a implementar o tratamento dos riscos; e processos de melhoria contínua, incluindo acompanhamento da evolução do contexto tecnológico.

### 4.5.3. Qualidade da energia elétrica

O desempenho das redes de distribuição em relação à qualidade da energia é medido através da qualidade da forma de onda da tensão fornecida em condições normais (algumas exceções permitem desvios ao exigido (EN 50160, 2010)), que se pretende que seja uma senoide perfeita, sem distorções e de frequência e amplitude constantes (logo, valor eficaz constante) de acordo com valores pré-estabelecidos. Quando tal não acontece, o desempenho dos equipamentos ligados pelos clientes pode não ser o esperado (EN 50160, 2010). Adicionalmente, pretende-se um sistema trifásico equilibrado para otimizar os ativos de toda a infraestrutura pública de fornecimento.

Na Europa, incluindo Portugal, existe concordância no grau de exigência requerido às redes públicas em BT, MT e AT. Os vários fenómenos e limites permitidos estão definidos na EN 50160, de cumprimento obrigatório pelos ORDEE em Portugal segundo o RQS (ERSE, 2021b).

Alguns fenómenos estão relacionados com a infraestrutura pública, como manobras na rede, anomalias dos ativos da rede e a abertura de dispositivos de proteção em resposta a curto-circuitos, causados por falhas nos equipamentos (falhas de isolamento são a principal causa) ou fatores atmosféricos imprevisíveis (descargas atmosféricas, ventos que aproximam cabos, chuva, etc.) (Masoum *et al*, 2015). Uma parte considerável dos fenómenos, de ocorrências crescentes, são derivados à utilização da energia, ou seja, por culpa dos equipamentos dos clientes, o que é coincidente com a proliferação de equipamentos eletrónicos mais suscetíveis a esses fenómenos (EN 50160, 2010). Não obstante a origem, cabe aos ORDEE monitorizar as redes de distribuição e identificar situações problemáticas, pois algumas das deformações da tensão em relação ao esperado propagam-se na rede, afetando outros clientes e acelerando o envelhecimento de alguns ativos da rede (Masoum *et al*, 2015).

Os fenómenos que devem ser controlados, de acordo com a EN 50160 (2010) e o RQS (ERSE, 2021b), adicionalmente explicados por Masoum *et al* (2015), são então (ver **Figura 4.10**):

a) Variação da frequência – deve-se a desvios entre a energia gerada e a energia consumida, pelo que se trata de um problema da gestão técnica global da infraestrutura pública (em Portugal, função do operador da rede de transmissão (Decreto-Lei nº 29/2006));

b) Variação do valor eficaz – variação persistente, com possível origem na rede de distribuição em defeitos de isolamento ou quedas de tensão devido a avarias, defeitos de fabrico ou instalação ou má regulação de transformadores e bancos de condensadores. Também pode ter origem na geração ou na rede de transmissão;

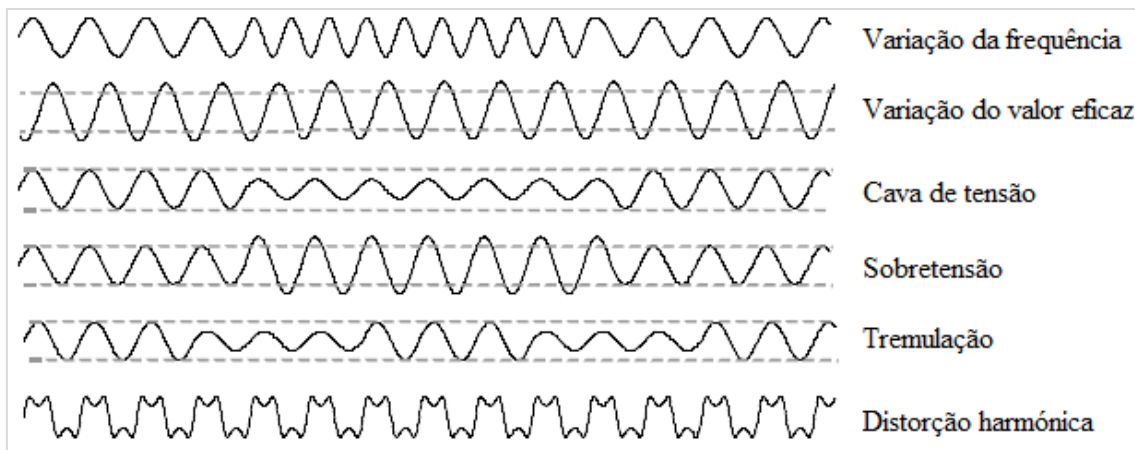
c) Cava de tensão – variação brusca e significativa mas de curta duração, devida a um curto-circuito na rede ou à ligação de cargas elevadas (por exemplo, clientes industriais). Do lado da rede, sendo os curto-circuitos imprevisíveis, as cavas não podem ser completamente impedidas, apenas limitadas. A sua duração depende do tempo até o curto-circuito ser eliminado ou isolado pela operação dos equipamentos de proteção;

d) Sobretensão (*swell*) – variação brusca e significativa mas de curta duração, tem origem principalmente nas redes, devido a manobras, ligação de banco de condensadores ou descargas atmosféricas, e também devido à desconexão de cargas relativamente elevadas;

e) Tremulação (*flicker*) – flutuação pouco significativa, mas perceptível pelos humanos (por exemplo na variação do fluxo luminoso de uma lâmpada), e periódica da amplitude (entre valores fixos ou aleatórios), devida ao funcionamento normal de cargas variáveis no tempo, como fornos elétricos a arco ou máquinas de arranques sucessivos, ou seja, com origem em instalações de clientes;

f) Desequilíbrio do sistema trifásico de tensões – deve-se principalmente à utilização não equitativa das 3 fases, por má distribuição nas instalações dos clientes ou cargas mono ou bifásicas elevadas. Pode também dever-se a anomalias assimétricas em transformadores ou linhas, mas por norma a deteção e eliminação desse defeito são precavidas na conceção da rede;

g) Distorção harmónica – deve-se à utilização de cargas não-lineares (normalmente eletrónica) sem utilização de filtros adequados, ou seja, tem origem nos clientes.



**Figura 4.10.** Fenómenos de desvio de qualidade da tensão (Adaptado (Brown, 2009)).

Portanto, por norma, apenas os fenómenos b, c e d têm origem nas redes de distribuição, estando no caso de b e c possivelmente relacionados com a condição dos ativos da rede. Existem medidas de mitigação destes fenómenos relacionadas com a gestão dos ativos da rede de distribuição, provenientes de processos de melhoria contínua, como: alimentação de cargas com maior potencial perturbador em MT ou AT, otimização do tempo de eliminação de defeitos, isolamento ou reforço de clientes mais sensíveis e instalação de linhas ou transformadores em paralelo e, em específico para sobretensões, instalação de cabos de guarda em zonas de incidência de descargas atmosféricas e instalação de descarregadores de sobretensões (E-Redes, 2018).

Em Portugal, a monitorização das redes ainda não é total, pelo que apenas ocorre: a nível permanente na RND, cujo mínimo de subestações a abranger está definido no MPQS e é crescente ao longo dos anos; a nível periódico em parte das restantes subestações da RND e em alguns postos de transformação das redes BT (mínimo de locais também definido no MPQS); e em resposta a reclamações (ERSE, 2021b). Na identificação de desvios fora dos limites permitidos, o ORDEE responsável deve determinar a origem do desvio e de quem é a responsabilidade por corrigir o mesmo. Quando a origem está na rede de distribuição, o ORDEE responsável deve preparar um plano de melhoria da qualidade de serviço específico para a resolução da situação identificada, com uma análise custo-benefício fundamentada (ERSE, 2021b).

#### **4.5.4. Outras medidas de desempenho usadas**

Para a Gestão de Ativos é essencial conhecer os objetivos de desempenho técnico, no entanto também é comum no setor avaliar o desempenho dos ORDEE segundo outras perspetivas. No questionário a operadores de redes de distribuição de energia elétrica

reportado no documento IEC (2015) mencionam-se as seguintes medidas de desempenho usadas comumente, além da perspectiva técnica:

- comercial, ao nível do tratamento e satisfação dos clientes, medida normalmente através de questionários;
- satisfação dos trabalhadores da organização, analisada através de questionários sobre motivação, capacidades e alinhamento com os objetivos da organização, oportunidades de desenvolvimento pessoal, assistência de saúde, entre outros;
- desempenho financeiro, utilizando indicadores comuns de contabilidade como o lucro antes ou depois de impostos;
- segurança dos trabalhadores e de clientes, medida em termos da frequência e severidade de acidentes.

Indo ao encontro da metodologia das ISO 5500x, estas medidas estão em alinhamento com alguns dos interesses das partes interessadas, analisados no ponto 4.4.4, pelo que a utilização de critérios na tomada de decisões tendo em conta esses interesses poderá levar à melhoria de desempenho na perspectiva das partes interessadas.

## **4.6. As Atividades de Gestão das Redes de Distribuição**

Neste ponto são analisadas as atividades de gestão das redes de distribuição de acordo com o estado da técnica, de modo a perceber de que modo a ISO 55001 pode responder a esses desafios. Por todo o mundo encontram-se diversos contextos e níveis de exigência, o que leva a diferentes graus de desenvolvimento das redes (IEC, 2015).

### **4.6.1. Planeamento da rede (investimentos de capital)**

Um dos objetivos do planeamento da rede de distribuição é satisfazer as necessidades presentes e futuras de fornecimento de energia (novos clientes e alterações de hábitos de consumo de clientes existentes). De modo a conceber uma infraestrutura com longo período de vida útil, é necessário um misto de competências ao nível da análise geográfica, análise socioeconómica e engenharia para prever onde e quando vai ocorrer aumento de procura de energia e conceber soluções adequadas (Short, 2014). É também necessária coordenação com as previsões e planeamento das redes a montante e a jusante.

Segundo a CIGRE TB 820 (2020), o planeamento de desenvolvimento da rede costuma partir da comparação de vários cenários de desenvolvimento do consumo energético. Os cenários são reanalisados periodicamente para detetar novas tendências, sendo recomendável a discussão com as organizações produtoras de energia, as grandes

consumidoras industriais e com organizações representativas, como a entidade reguladora.

Segundo Brown (2009), 40-50% dos custos de desenvolvimento de uma rede de distribuição destinam-se a aumentar a sua fiabilidade, isto é, comparando os custos de uma rede de fiabilidade aumentada com os custos que teria uma rede constituída apenas por transformadores, linhas e apoios de linhas de preço mínimo, sem capacidade de carga extra, sem aparelhos de corte e interruptores e sem proteção contra influências externas. O planeamento de aumento de fiabilidade consiste no planeamento de redundâncias, como linhas, postos elétricos ou ativos individuais, ou a reconfiguração da rede através do planeamento de ligações entre ativos próximos para criar caminhos adicionais ou através da substituição ou adição de ativos para proporcionar diferentes opções, por exemplo substituindo disjuntores por religadores.

Além de acompanhar a obrigatoriedade de fornecimento de energia aos clientes, também são desenvolvidas ações de desenvolvimento da rede com outros objetivos, como melhorar a segurança de pessoas e bens, redução de riscos para o meio ambiente ou eliminar situações de obsolescência.

Como visto noutros pontos, as redes de distribuição são analisadas pela sociedade segundo várias vertentes além da técnica – ambiental, económica, serviço público fiável. Além disso, os elementos da rede são instalados com o intuito de terem uma vida útil de décadas, o que exige uma análise ponderada a longo prazo. Assim, é conveniente empregar métodos de decisão que avaliem de modo consistente várias opções segundo vários critérios, de modo a obter uma reputação positiva segundo os critérios das partes interessadas e cumprindo os requisitos estabelecidos pelo regulador.

#### **4.6.2. Conceção, construção/implementação e comissionamento**

Para a conceção de soluções, além dos cálculos de dimensionamento, os ORDEE necessitam de ter em consideração a criticidade dos clientes, a existência de redundâncias e as características dos consumidores. Por exemplo, num cliente industrial os ciclos de consumo diário e anual são diferentes dos ciclos de um cliente residencial e as necessidades de fiabilidade podem ser diferentes (Short, 2014).

Segundo Short (2014), as características que sobressaem na conceção das redes e seleção de ativos são a minimização de custos, a simplificação e utilização de soluções e equipamentos de forma padronizada. As organizações do sector são tipicamente

conservadoras e dão preferência a soluções comprovadas – novos conceitos e inovações são vistos como introdução de risco. Tal possui as suas vantagens, como facilidades na logística de manutenção (aproveitamento de peças de reserva, etc.), redução de tempo e custos de projeto e aproveitamento de competências bem desenvolvidas dos trabalhadores em relação ao funcionamento e perigos dos ativos dispensando a necessidade de treino adicional, entre outros (CIGRE Study Committee B3, 2019). Tem a desvantagem de resistência à inovação e necessidade de análises aprofundadas para tal (CIGRE Study Committee B3, 2019). Adicionalmente, quando é detetado um risco ou falha de conceção num ativo são afetados múltiplos ativos em simultâneo, o que por seu lado possui o contra-argumento de que vai haver maior esforço para a correção do problema (Hastings, 2015).

Muitas das melhores práticas de conceção e das características de equipamentos encontram-se descritas em normas técnicas, comumente usadas para obter soluções fiáveis de conceção e de construção (CIGRE TB 787, 2019), por exemplo provenientes de organismos de reputação reconhecida internacionalmente como o IEEE ou o IEC. Algumas normas dizem também respeito a questões de segurança, um dos principais critérios das partes interessadas, que faz parte das boas práticas do sector desde que a energia elétrica começou a ser usada (CIGRE Study Committee B3, 2019). A evolução do sector é permanente, é constante a atualização de normas, evolução tecnológica dos ativos e a evolução das boas práticas, pelo que é útil aos ORDEE um processo de análise e integração desses desenvolvimentos, quando adequado aos interesses e necessidades das partes interessadas (CIGRE TB 787, 2019). Em Portugal, tal é um requisito definido no Decreto-Lei nº 172/2006.

Na fase de conceção, o LCC é cada vez mais uma prática comum e requerida formalmente. Conforme notado por Konstantakos *et al* (2019), a diretiva europeia 2014/25, “relativa aos contratos públicos celebrados pelas entidades que operam nos setores da água, da energia, dos transportes e dos serviços postais”, possui provisões que recomendam a aplicação de considerações acerca dos custos de todo o ciclo de vida para apoiar o desenvolvimento sustentável. Tal tem elevada importância nas redes de distribuição (e restante infraestrutura pública) pois os ativos são concebidos com o intuito de ter um longo período de vida útil – alguns 30, 50 ou mais anos – e requerem elevados investimentos de capital, devido à quantidade de ativos e ao seu custo individual, pelo que, como referem Lima *et al* (2019), é necessária uma estratégia de gestão, visão a longo

prazo e consideração de LCC para maximizar o valor dos ativos, algo que está em concordância com a filosofia das ISO 5500x.

É comum no sector os operadores de redes (de transmissão e distribuição) adjudicarem algumas destas atividades a prestadores de serviços – acompanhadas de controlo de qualidade e fiscalização –, em particular na fase de construção/implementação de ativos e na fase de implementação de ações de manutenção corretiva e preventiva (CIGRE TB 787, 2019). Como tal, é necessária uma abordagem semelhante à de quando se subcontratam atividades de operacionalização do SGA (referidas em 3.2.6), de estabelecimento de canais de comunicação com esses fornecedores, controlo de riscos e avaliação do desempenho.

### **4.6.3. Operação e Controlo da rede**

As boas práticas na operação e controlo da rede incluem a definição de procedimentos e instruções de como os ativos devem ser operados e quais são os limites de funcionamento e o estabelecimento de planos de contingência, de modo a garantir o cuidado dos ativos e a fiabilidade da rede, permitindo também a definição da logística de manutenção necessária (ativos e humanos) para responder a situações de avaria (CIGRE TB 787, 2019). Esta informação pode ser proveniente da abordagem integral da Gestão de Ativos.

Na CIGRE TB 787 (2019) também se recomenda o estabelecimento de procedimentos e de competências necessárias para análise de incidentes, análise de causa-raiz e formulação de planos de contingência ou de ações preventivas necessárias, como substituir determinados ativos em determinadas condições operacionais.

Com esse intuito, as mudanças de estado dos órgãos de manobra dos painéis que fazem a ligação de subestações à rede, bem como os valores de medida disponíveis, devem ser registados cronologicamente, para a análise de situações de incidente, algo que em Portugal é obrigatório de acordo com o RRD (2010). Em Portugal esta análise é do interesse não só da entidade reguladora mas também dos ORDEE, pois de acordo com o RQS (ERSE, 2021b) a classificação de uma interrupção como “evento excecional” (definição em 4.5.1) significa que a mesma não é imputada ao ORDEE e, portanto, é desconsiderada para o cálculo da qualidade de serviço e subseqüentes penalizações.

Do ponto de vista dos ativos, um dos principais fatores que afetam o envelhecimento e deterioração dos ativos do sistema de potência são as condições de

carga. Além de deteriorarem os ativos, afetam a sua capacidade de suportar sobrecargas e condições de curto-circuito, as quais podem levar a avarias (Short, 2014). Assim, a vida útil dos ativos pode ser estendida através do controlo da rede e distribuição otimizada da carga (Smith *et al*, 2021).

#### **4.6.4. Inspeção, Manutenção e Substituição**

Um dos principais desafios da manutenção das redes de distribuição é o envelhecimento dos ativos, alguns em funcionamento há 50 anos ou mais (Short, 2014), o que é inevitável devido à enorme quantidade de ativos. A elevada idade dos equipamentos gera vários problemas: aumento da probabilidade de avaria; aumento de ações de inspeção e manutenção e seus custos; dificuldade de obtenção de partes sobressalentes; obsolescência dos ativos; e redução de competências das organizações em relação aos ativos, à medida que as pessoas com mais experiência nos mesmos deixam a organização (Brown, 2009). Devido à elevada idade dos ativos, é útil uma estratégia sistemática de atualização do VAL dos ativos, de modo a procurar oportunidades de rentabilidade na substituição antecipada de ativos (Roda *et al*, 2015).

Outro desafio é como priorizar atividades de inspeção e manutenção, dificultado devido à elevada quantidade de ativos, a sua distribuição geográfica e as diferentes criticidades e riscos associados (Lima *et al*, 2019). Segundo o documento IEC (2015), os métodos utilizados passam principalmente pela análise de criticidade, avaliação da condição dos ativos e a análise de risco.

Parte desse desafio deve-se aos diferentes ativos e suas diferentes tecnologias (referidas no ponto 4.4), pois dificultam a gestão de competências, de conhecimento e de peças sobressalentes. Segundo a CIGRE TB 787 (2019), é habitual a definição de estratégias de manutenção específicas por tipo de ativo, em vez de priorizar atividades a nível global, o que facilita na comparação de criticidades.

Devido à elevada quantidade de ativos e a sua interdependência, como recomendado em IEC (2015), é necessário considerar a rede como um todo quando se planeiam desconexões para manutenção, otimizando o tempo de indisponibilidade. Para tal é necessária uma visão ao nível da rede de distribuição, além do nível individual.

Durante a execução de atividades de manutenção, especialmente em tensão ou perto de partes em tensão, são realizados procedimentos de controlo de riscos, principalmente para proteção dos trabalhadores. Os trabalhadores necessitam de

competências específicas ao nível da segurança, especialmente em AT e MT em que não é sequer necessário contacto físico para ocorrer eletrificação (Short, 2014). Tal demonstra a consideração desse critério pelos ORDEE.

#### **4.6.5. Priorização de atividades**

Segundo (IEC, 2015), os operadores priorizam entre projetos de capital e de manutenção através de análise de risco, avaliação da condição dos ativos e análise de criticidade dos ativos.

##### **4.6.5.1. Avaliação de condição**

Esta abordagem, em crescente utilização no setor segundo IEC (2015) e Brown (2009), vai ao encontro da filosofia da CBM. Para a avaliação do ativo, são considerados vários parâmetros, como a idade, ritmo de utilização, histórico de falhas, etc., em adição com os resultados de inspeções ao mesmo, em relação a várias características pré-definidas, como por exemplo, num transformador de potência: fuga de óleo, falhas de isolamento, etc. É realizada uma soma ponderada das avaliações de condição do ativo, resultando numa classificação que define a sua condição, normalmente medida de 0 a 100%, sendo 100 a condição ideal.

Esta análise permite classificar os ativos em relação à sua condição, indo além da mera consideração da sua idade, apesar de, no entanto, se verificar uma forte correlação entre os dois (CIGRE TB 541, 2013). Apesar de bastante utilizada pelos operadores de redes, não o é em isolamento, sendo combinada com consideração de obsolescência, criticidade dos ativos, requisitos regulamentares, entre outros (CIGRE TB 541, 2013).

A avaliação de condição permite assim determinar a frequência de inspeções futuras e os ativos cuja manutenção deve ser priorizada, utilizando por exemplo a RCM (Brown, 2009). Em combinação com análise financeira e de risco, permite também decidir entre implementar soluções de extensão de vida dos ativos ou a sua substituição, quando necessário.

Na CIGRE TB 761 (2019) assinalam-se as limitações desta metodologia: a soma ponderada pode esconder a importância de modos de falha individuais em estado avançado, quando apenas uma avaliação de condição tem um resultado baixo, pelo que pode ser necessário considerar os modos de falha individualmente; e é dependente da qualidade da informação, que pode ser antiga e desatualizada, especialmente com a

elevada quantidade de ativos das redes de distribuição, pelo que deve ser considerado e sinalizado o grau de incerteza para evitar confiança não fundamentada na condição dos ativos.

Conforme mencionado em IEC (2015), os períodos de intervalo entre inspeções e os seus resultados, ou seja, a interpretação da condição detetada, a necessidade de manutenção e o tempo de vida remanescente estimado, variam muito entre operadores de diferentes redes, não existem soluções universalmente aceites. Tal dificulta a confiança na aplicação desta metodologia e pode introduzir subjetividade. No entanto, a utilização por um ORDEE de uma escala comum e objetiva para cada categoria de ativos, sujeita a melhoria contínua, pode fornecer uma boa visão da condição relativa entre ativos do mesmo tipo. Na CIGRE TB 422 (2010) indica-se que esta abordagem é conveniente para transformadores de potência, disjuntores, relés de proteção e linhas aéreas e subterrâneas.

Dorr *et al* (2016) referem três questões a fazer para determinar a viabilidade da aplicação desta abordagem a um ativo: qual o impacto no sistema se o ativo estiver indisponível ou com fraco desempenho? Qual a informação que é útil e está disponível para avaliar a condição do ativo? Dado que a informação sobre muitos ativos não existe, é limitada ou desatualizada, é possível desenvolver métodos para avaliar a condição dos ativos com grau de certeza aceitável?

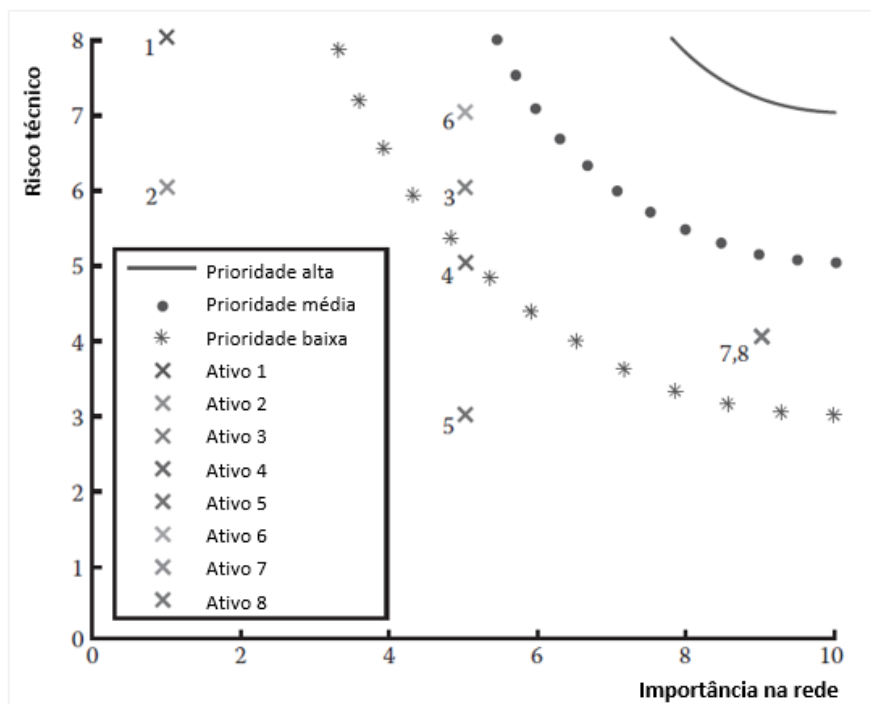
Existe obviamente a hipótese da ocorrência de falhas entre ações de inspeção, devido a deterioração repentina devida à avaria em algum elemento de um equipamento, pelo que é crescente no sector elétrico público a utilização de monitorização em tempo real de ativos críticos, como transformadores de potência de subestações (Brown, 2009).

#### 4.6.5.2. Análise de risco

A análise de risco, com base na probabilidade e impacto de falhas, é bastante utilizada pelos operadores de redes, segundo IEC (2015), no entanto, a metodologia de análise é variada. Operadores diferentes analisam o impacto de acordo com vários critérios diferentes – a reputação da organização, impacto ambiental, cumprimento da regulação, etc. – e o grau de importância da probabilidade de ocorrência não evolui de igual maneira, ambos dependem do contexto das organizações. A maioria dos operadores utiliza a análise de risco ao nível dos ativos individuais, alguns também realizam a análise ao nível de secções da sua rede (IEC, 2015).

Segundo IEC (2015), a ferramenta mais utilizada é a matriz de risco, devido ao fácil entendimento da sua representação gráfica. A matriz de risco pode ser atualizada considerando avaliação da condição (conforme 4.6.5.1) ou a idade dos ativos quando tal não está disponível (CIGRE TB 787, 2019). Outra ferramenta por vezes utilizada no sector é a FMEA (IEC, 2015).

Tjernberg (2018) sugere um passo adicional na análise de risco que pode ser aplicado no sector elétrico público. Além de analisar o risco de falha individual, cada ativo é classificado em função da sua importância para o desempenho da rede em geral, permitindo assim incluir a consideração da criticidade, como visível na **Figura 4.11**. As medidas mais utilizadas segundo IEC (2015) para definir importância e criticidade dos ativos são a energia cujo fornecimento está dependente do ativo e se os clientes fornecidos são críticos (hospitais, etc.), mas também deve ser tida em conta a existência ou não de redundâncias.



**Figura 4.11.** Diagrama de importância vs. risco técnico (Traduzido (Tjernberg, 2018)).

As organizações priorizam atividades determinando um limiar de risco aceitável e realizando os projetos de capital ou manutenção que reduzam os riscos ao aceitável ou, existindo constrangimentos financeiros que não o permitam, é dada prioridade a investimentos que oferecem a maior redução de risco por unidade de custo.

Uma fraqueza da análise de risco neste sector é que por vezes a probabilidade de falha se baseia em intuição e não em cálculos fundamentados ou num modo sistemático e objetivo (IEC, 2015).

#### 4.6.5.3. Estado da técnica

No questionário reportado em IEC (2015), a maioria dos operadores de redes prioriza atividades de modo fixo: primeiro as consideradas obrigatórias, depois os projetos de capital e por fim projetos gerais de operação e manutenção. As atividades obrigatórias incluem as derivadas de requisitos da regulamentação, apenas alguns operadores consideram também o aumento de carga como tal.

Sendo um serviço público, os ORDEE necessitam de responder a várias necessidades e expectativas das partes interessadas além dos custos, como a fiabilidade e qualidade de serviço e a proteção ambiental. Este é um problema que deve ser analisado e apresentado de modo rigoroso e compreensivo perante as entidades reguladoras e clientes, para justificar priorização e aumentos de investimento de capital entre substituição de infraestruturas envelhecidas, manutenção e expansão da capacidade da rede (Brown, 2009).

Segundo a CIGRE TB 541 (2013), a mera utilização de técnicas de priorização não é suficiente para uma gestão otimizada, a sua utilização isolada dá origem a elevada desigualdade de utilização de recursos financeiros (e humanos) ao longo dos anos, o que não é bem visto pelas entidades reguladoras, visto que não é exequível adaptar as tarifas em concordância com esses custos. Pelo que os operadores de redes necessitam de tomar uma visão a longo prazo e escalonar os investimentos utilizando gestão e controlo de risco.

Para este planeamento é necessário um conhecimento do estado dos ativos da rede. Segundo a CIGRE TB 422 (2010), para tal é útil também empregar métodos para prever o tempo de vida dos ativos e determinar a probabilidade de falha mais precisamente. Estes métodos têm em conta a condição do ativo ou no mínimo a idade do ativo, a taxa de falhas determinada a partir do historial de falhas da população de um dado ativo, o tempo de indisponibilidade e as condições ambientais (calor, humidade, poluentes, etc.), após o que é feita a modelação do seu comportamento (Vu *et al*, 2018). A modelação da fiabilidade seguindo a distribuição de Weibull é bastante utilizada no sector elétrico público (Brown, 2009). Isto requer boa organização da informação histórica sobre os ativos, a simulação

de vários cenários, considerar estrangulamentos de recursos financeiros e humanos e avaliação dos riscos associados.

Esta visão a longo prazo e a análise de riscos (ameaças e oportunidades) vão ao encontro das características da Gestão de Ativos e do PEsGA esclarecidos nos Capítulos 2 e 3.

#### **4.7. Ferramentas de gestão de ativos utilizadas**

Como referido em IEC (2015), é prática comum os ORDEE manterem sistemas de informação detalhados sobre os ativos, devido obviamente à extensa quantidade de ativos, pelo que constituem uma peça fundamental, algo concordante com as ISO5500x.

De acordo com a CIGRE TB 787 (2019) e Catrinu *et al* (2010), na gestão de ativos da infraestrutura de fornecimento de energia elétrica, a informação recolhida e organizada deve incluir minimamente:

- sobre os ativos individuais – localização, nível de tensão, ano de instalação, tipo, fabricante, modelo (se aplicável), modos de falha, taxa de falhas, histórico de intervenções de manutenção, ações planeadas, custos envolvidos, índice de criticidade;
- sobre a rede – definição de ativos críticos, interdependências, consequências de avarias para clientes, a organização e o meio ambiente;
- sobre eventos de avaria de ativos – a sua natureza, causa-raiz, o que ocorreu exatamente, duração, custos de reparação, inclusivamente para poder determinar a qualidade de serviço e poder aceder a compensações e incentivos;
- sobre o desempenho dos ativos – registo dos períodos de sobrecarga, o nível de sobrecarga, incidentes de tremulação;
- tendências sobre o desempenho dos ativos que permitam identificar padrões e necessidades de ações preventivas.

Segundo Catrinu *et al* (2010), esta informação estatística juntamente com modelos preditivos e a experiência acumulada dos ORDEE costumam constituir o seu método de tomada de decisões. Outras ferramentas incluem: software de representação da rede e de fluxo de energia (comumente designados pelo termo em inglês, *powerflow*); ferramentas de gestão a nível superior de tomada de decisões para cálculos financeiros, BSC e matrizes de risco. No entanto, é distinguida a necessidade e dificuldade de aplicação de ferramentas estruturadas de tomada de decisão.

## 4.8. Futuro – Principais desafios para as redes de distribuição

Conforme indicado na CIGRE TB 787 (2019), para a gestão otimizada dos seus ativos é necessário aos ORDEE analisar o contexto da organização, não só no presente mas também no futuro. A previsão dos desafios futuros, as questões e as motivações envolvidas, devem fazer parte do plano estratégico a longo prazo (o PEsGA) segundo as ISO 5500x.

Short (2014), Kawakita *et al* (2020) e na CIGRE TB 820 (2020) resumem-se os desafios para o futuro próximo das redes de distribuição, que introduzem novas incertezas além das presentes nas atividades das redes de distribuição já referidas anteriormente. Sendo eles:

a) melhorar a resiliência da rede durante eventos atmosféricos de maior impacto, cuja frequência tem vindo a aumentar (Short, 2014);

b) desenvolver uma infraestrutura de rede elétrica inteligente (“*smart grid*”) para otimização de energia, vida útil de ativos, resposta a falhas de fornecimento e qualidade de serviço, através de telecomunicações, automação e segurança, acompanhando a rápida evolução das tecnologias de comunicação e informação, ao mesmo tempo que se garante a cibersegurança das mesmas (CIGRE TB 820, 2020);

c) em linha com o conceito *smart grid*, facilitar a integração da geração distribuída e do armazenamento de energia – dois conceitos atualmente vistos como parte do futuro da infraestrutura de fornecimento elétrico –, adotando configurações de rede flexíveis para manter esses elementos ligados à rede, o que consiste um afastamento da infraestrutura clássica de fluxo de energia unidirecional proveniente de centrais em larga escala. A geração distribuída consiste principalmente em geração ligada diretamente à rede de distribuição (AT, MT e BT), consistindo principalmente em parques fotovoltaicos e parques eólicos, tecnologias cada vez mais competitivas a nível de custos em relação às energias tradicionais, mas que introduzem o problema de energia intermitente e incerta (CIGRE TB 820, 2020);

d) mitigar o impacto ambiental, uma crescente preocupação global, incluindo o melhoramento da eficiência energética, a redução de gases que contribuem para o efeito de estufa e a redução da pegada carbónica dos ativos, integrando novas tecnologias (Kawakita *et al*, 2020);

e) melhorar a qualidade de energia, através da evolução das técnicas de controlo de tensão e de potência reativa, especialmente tendo em conta a crescente utilização de equipamentos que prejudicam a qualidade da energia e ao mesmo tempo de equipamentos sensíveis a tal (Short, 2014);

f) integrar sistemas de clientes com novas características, como carregamento de carros elétricos e sistemas de gestão energética, cujas características podem mudar os padrões de consumo e distribuição de cargas (CIGRE TB 820, 2020); e

e) gerir o desenvolvimento das competências dos trabalhadores das organizações face a todas estas inovações (Kawakita *et al*, 2020).

#### **4.9. Análise da necessidade das ISO 5500x**

Ao analisar a regulamentação relevante em Portugal, denotam-se alguns requisitos semelhantes à filosofia da ISO 55001 (2014), como:

- elaboração e atualização de um sistema de identificação das suas instalações, das instalações ligadas às respetivas redes, de esquemas e plantas dos traçados das suas redes, ou seja, o âmbito dos ativos relacionados com a atividade dos operadores de rede de distribuição;
- definição de normas operatórias e procedimentos internos aplicáveis aos diversos trabalhos (como os planos de gestão de ativos), incluindo planos de contingência em casos de incidente;
- responsabilidade sobre as competências dos trabalhadores;
- combinação de avaliação de aspetos técnicos e económicos na decisão entre soluções alternativas, tendo em conta os princípios básicos da análise de investimentos e recorrendo a indicadores apropriados, incluindo análise custo-benefício;
- estabelecimento de indicadores de desempenho (e incentivos) claros nos regulamentos específicos, alinhados com os valores do regulador e outras partes interessadas;
- acompanhamento e adoção dos melhores meios e tecnologias geralmente utilizados no sector elétrico, equivalente à procura por melhoria contínua.

Portanto, levanta-se a questão: os aspetos adicionais da Gestão de Ativos de acordo com a ISO 55001 acrescentam valor à atividade em relação ao já obrigatório?

A regulação levanta as necessidades e expectativas da atividade de distribuição, no entanto não as transpõe para o plano operacional, fica à responsabilidade da organização desenvolver soluções adequadas. Não só isso, como a remuneração recebida pelos ORDEE, que assegura o seu equilíbrio económico-financeiro (através das tarifas definidas pelo regulador), está dependente da execução e demonstração de gestão eficiente da rede e da descrição e justificação adequada das decisões tomadas quanto a investimentos. Estas são características concordantes com o funcionamento de um SGA otimizado, como se viu no Capítulo 3. Tal assume aqui particular importância, uma vez que os indicadores de desempenho da organização estão tão dependentes dos ativos, como observado em 4.5.

Além desta necessidade e como visto neste capítulo, algumas das melhores práticas do sector são concordantes com a filosofia das ISO 5500x. Por exemplo, como visto nas experiências de outras organizações do sector que implementaram um SGA de acordo com a ISO 55001 (2014), referidas no ponto 3.4 e na análise do estado da técnica das atividades dos ORDEE, a gestão do risco em termos da fiabilidade de fornecimento de energia é um aspeto que, não fazendo parte concreta da regulamentação em Portugal, está bastante presente na tomada de decisões no setor, devido à pressão da regulamentação por aumentar a fiabilidade. A esta juntam-se outras características recomendadas nas ISO 5500x para a otimização da gestão de ativos que são prática comum no estado da técnica, como o alinhamento entre necessidades das partes interessadas e conceção técnica, planeamento a longo termo, estabelecimento de planos de contingência e a visão ao nível do sistema além do nível individual, entre outros.

Observando a base de dados pública da ISO quanto a organizações certificadas com a ISO 55001<sup>3</sup>, verifica-se que muitas das organizações são do sector elétrico público (como já mencionado em 3.4), o que demonstra no mínimo alguma adoção pelo sector. Sendo um requisito da regulação acompanhar os “melhores meios e tecnologias geralmente utilizados no sector elétrico” (Decreto-Lei nº 172/2006), existe, portanto, alguma pressão aos ORDEE para adotar a norma e acompanhar a tendência, especialmente na ausência de outros documentos normativos de gestão aplicáveis ao sector (IEC, 2015).

---

<sup>3</sup> <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/known-certified-organizations.html>

As ISO 5500x não apresentam recomendações ou requisitos próprios para as redes de distribuição de energia elétrica, pelo que a organização está dependente da análise do contexto tecnológico para procurar novas soluções.

A notar que, devido à possível reestruturação e alteração de padrões que a implementação da Gestão de Ativos pode exigir, conforme Lima *et al* (2019) sugere, no mercado regulado da eletricidade, a implementação da gestão de ativos deve ser precedida da identificação e priorização dos requisitos que mais se adaptam aos regulamentos do mercado impostos à organização.

Por último, há que assinalar que a rede de distribuição em si (AT, MT e BT) constitui um monopólio, mas a concessão não. Pelo que não se exclui a possibilidade de competição, inclusivamente por organizações da área técnica certificadas segundo a ISO 55001, o que as poderia pôr em vantagem.

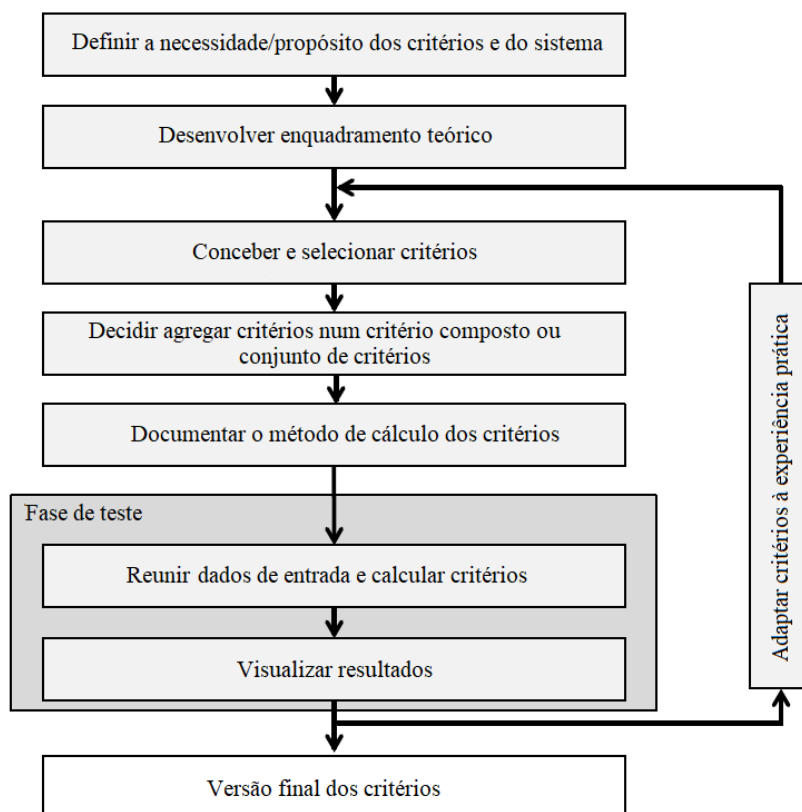
## 5. Conceção de Sistema de Tomada de Decisões para Gestão de Ativos de Redes de Distribuição

Como verificado no capítulo anterior, as melhores práticas da indústria são concordantes com as necessidades e expectativas das partes interessadas e com a filosofia das ISO 5500x. No entanto, que garantias é que a própria organização tem de que está a maximizar o valor dos seus ativos, em concordância com as necessidades e expectativas das partes interessadas? E tal é percecionado pelas partes interessadas? Tendo em conta a análise à Gestão de Ativos efetuada nos Capítulos 2 e 3, a implementação e certificação de uma organização com a ISO 55001 e a integração dos elementos adicionais da filosofia da Gestão de Ativos contida nas ISO 5500x podem ajudar a alcançar esses objetivos.

Apesar de haver muito a dizer sobre a aplicação da Gestão de Ativos às redes de distribuição, neste Capítulo pretende-se focar nas questões mencionadas acima e estruturar um sistema de tomada de decisões que traduza os critérios das partes interessadas em decisões operacionais, em cumprimento com a ISO 55001 (2014). Pretende-se com isso explorar um dos grandes benefícios da Gestão de Ativos, que vai ao encontro de uma das principais necessidades da atividade de operador de rede de distribuição identificadas no Capítulo 4: estabelecer um modo sistemático e transparente de tomada de decisões, alinhado com os objetivos da organização e as necessidades e expectativas das demais partes interessadas.

O problema de tomada de decisões complexas multicritério é aqui abordado dividindo-os em problemas mais simples e depois agregando os resultados.

Hofmann *et al* (2012) sumarizam um processo de formulação de sistema de tomada de decisões com base em múltiplos critérios (os autores utilizam o termo “indicadores”), conforme representado na **Figura 5.1**, o qual está de acordo com a filosofia da Gestão de Ativos.



**Figura 5.1.** Processo de formulação de sistema de tomada de decisões (Adaptado (Hofmann *et al*, 2012)).

A necessidade do sistema de tomada de decisões e dos critérios provêm da política de gestão de ativos e dos objetivos da gestão de ativos, os quais ditam a abordagem de implementação do sistema. O estabelecimento de objetivos concretos de gestão de ativos depende da organização, tendo em conta os seus objetivos organizacionais, a definição de atitude quanto ao risco e os recursos disponíveis, pelo que não são aqui abordados em específico. No entanto, devem ser realistas em termos da capacidade da organização.

Para a conceção e seleção de critérios, Gramme *et al* (2016) referem que é conveniente reduzir o seu número de modo a direcionar o foco para as questões essenciais, o que também será facilitado através da agregação de critérios. A documentação do seu cálculo é algo que vai ao encontro da transparência da Gestão de Ativos e os requisitos da ISO 55001 (2014). Devido às peculiaridades dos vários tipos de decisões, as mesmas são aqui divididas em categorias, em concordância com o referido em 3.2.3.1.

A fase de teste é essencial para comprovar o sistema, comparando-o com casos reais – o que está de acordo com os princípios de avaliação de desempenho e melhoria contínua da Gestão de Ativos das ISO 5500x. No entanto, não se trata aqui de um caso de estudo, pelo que esta fase não foi realizada.

## 5.1. Política de Gestão de Ativos

A Política de gestão de ativos de um ORDEE pode passar pelo indicado na **Figura 5.2.**

A rede de distribuição é o elemento final na infraestrutura de fornecimento de energia elétrica, pelo que o seu papel é fundamental na prestação global deste serviço. A esta pressão adiciona-se o elevado número de ativos, complexidade e extensão da rede, que tornam a sua gestão tão exigente.

Assim, considerando as expectativas da sociedade, dos clientes, dos elementos da organização e de outras partes interessadas, definem-se os critérios essenciais para a gestão de ativos da rede: segurança de pessoas e bens; continuidade e qualidade do serviço; otimização de custos; e redução do impacto social e ambiental.

Como ferramentas para responder a estes critérios, tendo em conta a sustentabilidade da organização, é política da organização:

- Implementar meios para evidenciar a contribuição aos critérios definidos pelas decisões tomadas, em todos os níveis;
- Tomar decisões tendo em vista a otimização de custos a longo prazo, adotando abordagens que incluam todo o ciclo de vida dos ativos, do projeto e conceção, passando pela operação e manutenção até ao seu abate;
- Avaliar, monitorizar e controlar riscos para os objetivos definidos;
- Priorizar ativos críticos para os objetivos definidos;
- Proporcionar recursos para garantir o desempenho sustentável dos ativos e das atividades necessárias à sua gestão;
- Desenvolver o conhecimento sobre a rede e os fatores que a influenciam;
- Acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos do sector em termos de equipamentos e ferramentas de análise e gestão, sem comprometer a sustentabilidade e padrões de risco da organização;
- Adotar padrões reconhecidos internacionalmente na tomada de decisões e gestão de ativos e cumprir os requisitos da regulação e legislação aplicáveis;
- Assegurar as competências necessárias às funções de gestão de ativos;
- Adotar processos de melhoria contínua das atividades relacionadas com a gestão dos ativos anteriormente mencionadas.

**Figura 5.2.** Sugestão de Política de gestão de ativos de um ORDEE.

Fica deste modo estabelecida, de modo simples, a visão da liderança da organização, um dos princípios fundamentais da Gestão de Ativos, clarificando os critérios de tomada de decisão e a abordagem de base pretendida.

Alguns critérios observados em 4.2, como a transparência e a inclusão dos clientes na tomada de decisões, foram deixados de fora pois advêm do próprio funcionamento pretendido do SGA.

## **5.2. Enquadramento teórico do sistema**

Conforme estabelecido na política de gestão de ativos, é necessário conciliar critérios com dimensões diferentes, o que como visto no capítulo 3 requer ferramentas de decisão multicritério. Para determinar o peso relativo dos critérios para as partes interessadas foi escolhido o AHP, devido à sua simplicidade de implementação e de compreensão, facilitando a sua aceitação por todas as partes interessadas.

Em seguida, é necessário estabelecer o método de controlo dos riscos para os objetivos de gestão de ativos, usando os critérios definidos, ou seja, como serão estabelecidas e comparadas alternativas para os vários problemas de gestão de ativos.

Aqui é feita a distinção na abordagem de tomada de decisões entre as atividades de desenvolvimento da rede e as atividades de manutenção. Os ORDEE têm a obrigação de permitir a ligação à rede de todos os clientes, pelo que o problema de desenvolvimento da rede é de seleção de alternativas. Já a manutenção preventiva e outras atividades opcionais podem ser geridas desde que sejam mantidos os padrões de serviço, o que lhes confere maior liberdade, pelo que o problema é de priorização de atividades. Devido a esta diferença, diferenciou-se a abordagem de tomada de decisões para estes dois tipos de atividades e os mesmos não foram considerados em competição. A conceção aqui pretendida está representada na **Figura 5.3**.

De notar, no entanto, que em última análise a nível global, como referido por Petchrompo *et al* (2019), estas duas atividades competem pelos recursos da organização, pelo que não é inconcebível uma abordagem unificadora.



**Figura 5.3.** Abordagem selecionada para alinhamento de tomada de decisões das diferentes categorias.

É depois necessário determinar os métodos de quantificar os critérios, os escalões de severidade e os limites de risco aceitável, de modo a torná-los comparáveis numa escala comum e aplicar o método de controlo de riscos. Este processo depende da atitude da organização face aos riscos e dos objetivos organizacionais. Os métodos de quantificação podem variar tendo em conta o tipo de decisão ou o tipo de ativo.

Hofmann *et al* (2012) referem várias questões que ajudam a discernir a adequação de um critério, de entre as quais se identifica aqui necessidade:

- o critério é relevante para monitorizar e demonstrar os riscos pretendidos?
- o critério é mensurável/quantificável e é possível reunir informação para tal?
- o critério possui a exatidão necessária?
- o critério é o mais simples possível a servir o propósito para que está definido?
- estão documentadas as presunções, limitações e método de cálculo?
- o critério é aceite pelas partes interessadas envolvidas?

Como visto no capítulo 3, o AHP é um método simples que permite reduzir a subjetividade na determinação do peso relativo dos critérios de tomada de decisão. O processo tradicional tem as seguintes fases: determinação dos pesos relativos dos critérios; determinação da ordem de preferência das alternativas ao nível local (por critério); e determinação da ordem de preferência das alternativas ao nível global.

A determinação dos pesos relativos dos critérios é relativamente simples, baseando-se em comparações dos critérios dois a dois. As fases seguintes, com objetivo

de ordenar a preferência global pelas alternativas, também se baseiam em comparações dois a dois, no entanto, apenas se aplicam ao problema definido e complicam-se com o aumento de critérios e alternativas.

Conforme mencionam Márquez *et al* (2020b), dadas as características das redes de distribuição, um sistema de tomada de decisões para a gestão da sua manutenção a ser benéfico tem de:

- ser aplicável a um grande número de ativos;
- permitir alterações nas escalas de severidade (ou seja, se for possível alterar a atitude da organização face aos riscos);
- permitir identificar facilmente novas necessidades de manutenção com base em alteração de condições operacionais ou desenvolvimentos da rede; e
- ser facilmente implementável informaticamente, de modo a funcionar automaticamente após introdução de nova informação sobre os ativos devido a intervenções.

Dada esta necessidade para a gestão da manutenção, a determinação da ordem de preferência das alternativas seria um processo moroso e difícil de automatizar e aplicar a um grande número de problemas, com informação em constante atualização, usando o AHP tradicional. Por esse motivo, o AHP tradicional apenas será considerado para obter os pesos relativos dos critérios para as atividades gerais do ORDEE, ou seja, o que é esperado da atividade do ORDEE. A continuação do AHP para determinar a preferência de alternativas será aplicada apenas nas atividades de desenvolvimento da rede.

## **5.3. Definição do peso dos critérios através do AHP**

### **5.3.1. Obtenção dos pesos relativos**

O processo é definido em seguida, conforme descrito por Mu *et al* (2018).

Segundo o AHP tradicional, o primeiro passo consiste em definir o problema através do objetivo, critérios e alternativas, sendo que aqui ainda não são definidas alternativas pois o objetivo é só obter os pesos relativos. Concretamente:

- Objetivo – melhorar a prestação do operador da rede de distribuição;
- Critérios – recordando, os critérios definidos são segurança de pessoas e bens, continuidade e qualidade do serviço, otimização de custos e redução do impacto social e ambiental.

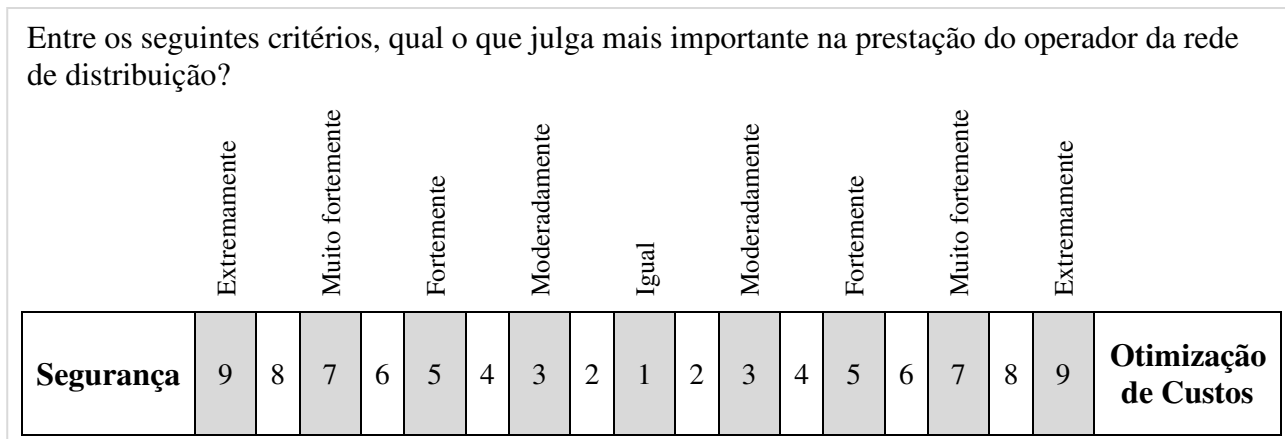
Os critérios estão definidos de modo geral, o que facilita a sua comparação numa fase inicial para determinar o peso dos critérios. No entanto, alguns devem ser decompostos na fase de análise das alternativas, de modo a capturar todos os aspetos das mesmas, ou até mesmo neste primeiro passo dependendo do tipo de problema envolvido. Por exemplo, o critério continuidade e qualidade do serviço pode ser dividido em fiabilidade e tempo de interrupção ou outros. A opinião de peritos é necessária para definir os critérios necessários.

O segundo passo consiste na recolha de opiniões dos peritos ou outras partes interessadas que serão usadas para determinar o peso relativo dos critérios. Para tal é primeiro definida uma escala de comparação das alternativas, conforme exemplificado na **Tabela 5.1** adaptada do documento de Mu *et al* (2018). Os níveis indefinidos entre julgamentos e a quantidade de julgamentos ajudam a capturar incertezas e obter maior exatidão, mas a escala pode obviamente ser reduzida, por exemplo para induzir maior concentração nas escolhas.

**Tabela 5.1.** Escala de comparação (adaptada (Mu *et al*, 2018)).

<b>Julgamento</b>	<b>Valor numérico</b>
Extremamente mais importante	9
	8
Muito fortemente mais importante	7
	6
Fortemente mais importante	5
	4
Moderadamente mais importante	3
	2
Igualmente importante	1

Definida a escala, a questão é colocada às partes interessadas, apresentando os critérios 2 a 2. A questão deve ser dirigida ao objetivo definido no primeiro passo, pelo que objetivos diferentes poderão resultar em pesos relativos diferentes. Uma forma de apresentação é por exemplo a da **Figura 5.4** relativamente a apenas uma questão, o questionário completo encontra-se no Anexo II.



**Figura 5.4.** Recolha de preferências de critérios de partes interessadas.


No terceiro passo, as opiniões são inseridas numa matriz de comparações, a qual é sempre uma matriz quadrada com a diagonal principal unitária (importância de um critério comparado consigo mesmo é igual). Se no exemplo da **Figura 5.4** o decisor escolhesse que a segurança é muito fortemente mais importante que a otimização de custos, o valor correspondente (7) seria inserido na linha da segurança na coluna da otimização de custos. A comparação inversa, otimização de custo vs. segurança, não necessita de ser realizada, resulta simplesmente na colocação do valor inverso multiplicativo (1/7) na posição inversa da matriz. Resultando, apenas para esta comparação, na matriz de comparações representada na **Tabela 5.2**.

**Tabela 5.2.** Matriz de comparações 2 a 2.

<b>Prestação do operador</b>	Segurança	Continuidade e qualidade do serviço	Otimização de Custos	Impacto social e ambiental
Segurança	1		7	
Continuidade e qualidade do serviço		1		
Otimização de Custos	1/7		1	
Impacto social e ambiental				1

O passo final consiste na extrapolação das comparações 2 a 2 e obtenção dos pesos relativos gerais, o que pode ser realizado pelo método exato e pelo método aproximado. O método aproximado é bastante simples e resulta numa boa aproximação conforme referem Mu *et al* (2018), pelo que foi o selecionado. O mesmo começa pela normalização da matriz de comparações 2 a 2: somam-se os valores de cada coluna e divide-se o valor de cada elemento da matriz de comparações 2 a 2 pelo total da sua coluna. Resultando, usando valores exemplificativos, na matriz da **Figura 5.5**.

Prestação do operador	S	C e Q	OC	ISA
S	1	6	7	4
C&Q	1/6	1	3	1/4
OC	1/7	1/3	1	1/5
ISA	1/4	4	5	1
<b>Soma</b>	<b>1,560</b>	<b>11,333</b>	<b>16,000</b>	<b>5,450</b>



Prestação do operador	S	C e Q	OC	ISA
S	0,641	0,529	0,438	0,734
C&Q	0,107	0,088	0,188	0,046
OC	0,092	0,029	0,063	0,037
ISA	0,160	0,353	0,313	0,183

Legenda: S – Segurança de pessoas e bens; C&Q – Continuidade e Qualidade de Serviço; OC – Otimização de Custos; ISA – Impacto Social e Ambiental

**Figura 5.5.** Normalização da matriz de comparações.

O resultado final dos pesos relativos gerais dos critérios consiste apenas na média de cada linha. Mu *et al* (2018) sugerem a apresentação de resultados contendo a matriz de comparações 2 a 2 inicial, de modo a recordar as comparações iniciais, como representado na **Tabela 5.3**. Destacam-se a amarelo as células correspondentes às preferências nas comparações 2 a 2. Como se pode verificar, o critério mais importante da análise foi a segurança, seguido do impacto social e ambiental, da continuidade e qualidade do serviço e por último a otimização de custos.

**Tabela 5.3.** Matriz de comparações iniciais 2 a 2 e pesos relativos gerais resultantes.

Prestação do operador	Comparações iniciais 2 a 2				Pesos relativos gerais
	Segurança	Continuidade e qualidade do serviço	Otimização de Custos	Impacto social e ambiental	
Segurança	1	6	7	4	<b>0,586</b>
Continuidade e qualidade do serviço	1/6	1	3	1/4	<b>0,107</b>
Otimização de Custos	1/7	1/3	1	1/5	<b>0,055</b>
Impacto social e ambiental	1/4	4	5	1	<b>0,252</b>

### 5.3.2. Análise de consistência

Conforme referido por Mu *et al* (2018), é conveniente analisar a consistência dos julgamentos iniciais antes de aceitar os resultados obtidos. Por exemplo, se A é considerado mais importante que B e B mais importante que C, obrigatoriamente A será ainda mais importante que C na comparação individual. Para tal, começa-se por multiplicar o peso relativo geral de cada critério por cada valor da coluna respetiva e em seguida somam-se os valores de cada linha para obter a soma ponderada (**Figura 5.6**).

Prestação do operador	S	C&Q	OC	ISA		Prestação do operador	Comparações 2 a 2 ponderadas				Somas ponderadas
Peso relativo	0,586	0,107	0,055	0,252			S	C&Q	OC	ISA	
S	1	6	7	4	➔	S	0,586	0,643	0,385	1,009	<b>2,623</b>
C&Q	1/6	1	3	1/4		C&Q	0,098	0,107	0,165	0,063	<b>0,433</b>
OC	1/7	1/3	1	1/5		OC	0,084	0,036	0,055	0,050	<b>0,225</b>
ISA	1/4	4	5	1		ISA	0,146	0,428	0,275	0,252	<b>1,102</b>

Legenda: S – Segurança de pessoas e bens; C&Q – Continuidade e Qualidade de Serviço; OC – Otimização de Custos; ISA – Impacto Social e Ambiental

**Figura 5.6.** Soma ponderada das colunas para determinação de consistência.

Em seguida, na análise de consistência, as somas ponderadas são divididas pelos pesos relativos gerais e os resultados que daí advêm são somados e divididos pelo número de critérios ( $n = 4$ ), conforme demonstrado na **Tabela 5.4**, para calcular o valor  $\lambda_{MAX}$ .

**Tabela 5.4.** Cálculo de  $\lambda_{MAX}$ .

Critério	Somas ponderadas	Pesos relativos gerais	Somas ponderadas
			Pesos relativos gerais
Segurança	2,623	0,586	4,480
Continuidade e qualidade do serviço	0,433	0,107	4,042
Otimização de Custos	0,225	0,055	4,085
Impacto social e ambiental	1,102	0,252	4,369
<b>Total</b>			16,975
$\lambda_{MAX} = \text{Total}/n$			4,244

O Índice de Consistência é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} = \frac{4,244 - 4}{4 - 1} = 0,081 \quad (\text{eq. 6})$$

E o resultado final de Rácio de Consistência é determinado do seguinte modo:

$$\text{Rácio de Consistência} = \frac{\text{Índice de Consistência}}{\text{Índice Aleatório}} = \frac{0,081}{0,8816} = 0,092 \quad (\text{eq. 7})$$

O Índice Aleatório é a média obtida dos Índices de Consistência de 500 matrizes geradas aleatoriamente (logo, sem qualquer tipo de consistência entre os valores), sendo que é um valor tabelado dependente do número de critérios (aqui,  $n = 4$ ), conforme indicado por Brunelli (2015). Para se confirmar que o nível de consistência é aceitável e os resultados do AHP podem ser usados, o Rácio de Consistência, independentemente do

número de critérios, deve ser inferior a 0,10. De notar que tal se verifica no exemplo apresentado, mas apenas foi conseguido após várias iterações. Sem se verificar consistência, as comparações devem ser repensadas pelos decisores.

## 5.4. Adaptações ao AHP

### 5.4.1. Combinação de múltiplas opiniões

Conforme descrito por Mu *et al* (2018), o AHP também pode ser utilizado considerando a opinião de diversas partes interessadas. Para tal, seria criada uma matriz de comparações 2 a 2 para cada parte interessada, como a da **Tabela 5.2**. Em seguida, recorre-se à média geométrica entre os mesmos elementos de cada matriz de modo a criar uma matriz de comparações 2 a 2 final, a partir do que o AHP prossegue como já indicado.

Por exemplo, se na questão segurança vs. custos da **Figura 5.4** um decisor achasse a segurança fortemente mais importante (5) que a otimização de custos, outro achasse moderadamente mais importante (3) e outro discordasse e achasse a otimização de custos fortemente mais importantes (1/5). Sendo  $m=3$  o número de decisores, o valor correspondente à comparação segurança vs. otimização de custos a colocar na linha da segurança na coluna da otimização de custos ( $a_{SC}$ ) na matriz de comparações 2 a 2 do grupo de decisores seria dado pela média geométrica:

$$a_{SC} = \sqrt[m]{5 \times 3 \times (1/5)} = \sqrt[3]{3} = 1,442 \quad (\text{eq. 8})$$

Utilizando a média geométrica, é mantida a propriedade de reciprocidade multiplicativa entre elementos da matriz de comparações 2 a 2, ou seja, ainda se verifica a relatividade entre elementos dessa matriz, pelo que os valores obtidos ainda podem ser usados no AHP para determinação dos pesos relativos. Como se pode verificar para a comparação inversa, otimização de custos vs. segurança, o valor correspondente à média geométrica a colocar na linha da otimização de custos na coluna da segurança ( $a_{CS}$ ) na matriz de comparações 2 a 2 do grupo de decisores é:

$$a_{CS} = \sqrt[m]{(1/5) \times (1/3) \times 5} = \sqrt[3]{1/3} = 1/\sqrt[3]{3} = 1/a_{SC} \quad (\text{eq. 9})$$

Na abordagem aqui preferida é objetivo reunir a opinião de vários elementos de entre as várias partes interessadas: gestão de topo; peritos da organização; elementos da entidade reguladora; inclusivamente até questionar clientes. As opiniões podem depois ser todas combinadas, no entanto poderá ser vantajoso manter divididas as opiniões entre os vários tipos de partes interessadas e dialogar sobre diferenças encontradas.

### 5.4.2. Utilização de escalões para avaliação de alternativas

É conveniente descrever agora como a utilização de escalões para a avaliação de alternativas pode ser incorporada no AHP. As fases de determinação da alternativa preferida a nível local e geral de acordo com o AHP tradicional são explicadas mais adiante no ponto 5.5.1, o que inclui a comparação de alternativas 2 a 2 em relação a cada critério. Usando escalões, a preferência pelas alternativas é expressa ao avaliá-las individualmente segundo escalões, específicos para cada critério, em que um escalão mais elevado representa um melhor resultado no critério em questão.

A utilização de escalões para a avaliação de alternativas no AHP está descrita em (Mu *et al*, 2018). O processo de obtenção dos pesos relativos demonstrado anteriormente mantém-se inalterado. Em seguida, são definidos os escalões para os vários critérios. No AHP, os valores mais elevados correspondem à solução pretendida, pelo que a classificação mais atrativa deve corresponder ao maior escalão.

Em seguida, após a avaliação das alternativas usando escalões, é simplesmente realizada a soma ponderada usando os pesos relativos dos critérios determinados, ou seja, multiplicando os pesos relativos dos critérios pelas avaliações efetuadas para os vários critérios e somando esses valores para obter o resultado final para cada alternativa.

Para tal, é necessário que os escalões dos critérios possuam os mesmos valores limite, caso contrário tal irá obviamente influenciar o resultado final. Quando é útil definir valores limite diferentes, as avaliações realizadas devem ser normalizadas, por exemplo usando a normalização min-max:

$$x' = \frac{x - \min(C)}{\max(C) - \min(C)} \quad (\text{eq. 10})$$

em que:  $x'$  é a avaliação normalizada;  $x$  é a avaliação original; e  $\max(C)$  e  $\min(C)$  são os valores limite da escala do critério  $C$ , respetivamente máximo e mínimo. Deste modo converte-se a escala do critério  $C$  para valores entre 0 e 1, em que 1 é o valor que representa o melhor resultado no critério.

Para alguns critérios, a mesma escala não é útil para todo e qualquer problema, pelo que os escalões devem ser definidos tendo em consideração a dimensão do problema em questão. Por exemplo, para os custos, 1 milhão de euros pode ser considerado muito atrativo ao conceber uma subestação, mas impensável para um pequeno posto MT.

É vital o auxílio de peritos nas matérias dos vários critérios para definir os escalões adequadamente.

### **5.4.3. Decomposição dos critérios**

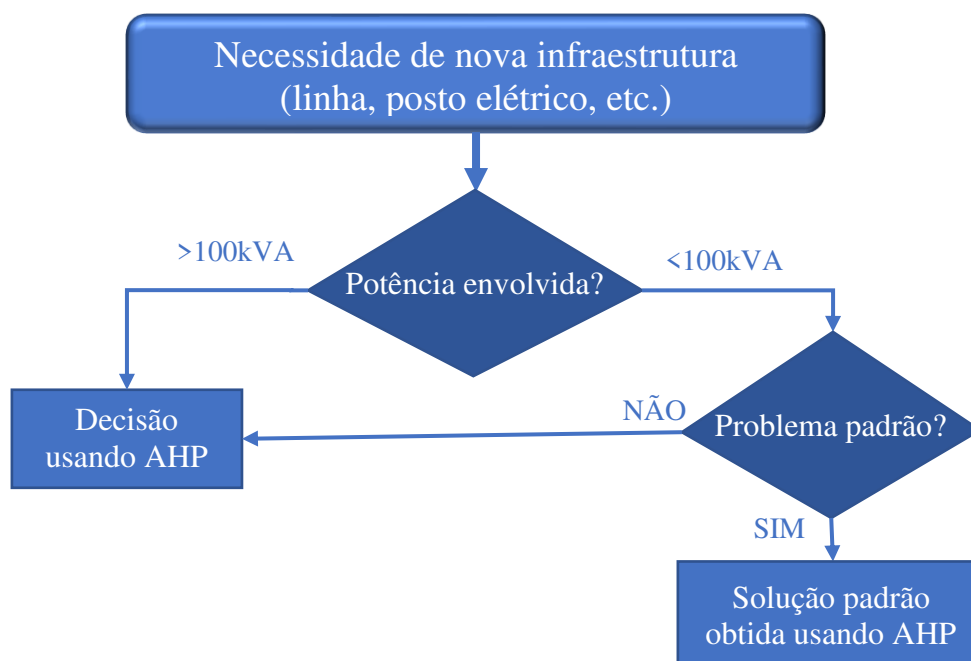
Algo que pode ajudar a retirar ainda mais subjetividade da decisão é a decomposição dos critérios em subcritérios. Tal permite capturar mais objetivamente as diversas dimensões de cada critério e os diversos pontos fortes e fracos de cada alternativa nessas dimensões.

Na conceção aqui preferida, o peso relativo dos critérios é determinado considerando-os de modo geral, o que até pode ser realizado recorrendo à opinião de pessoas menos experientes na matéria. Depois, antes da aplicação às alternativas e recorrendo às opiniões de peritos nas diversas matérias, os critérios são decompostos em várias dimensões e é determinado o peso relativo desses subcritérios para o critério em questão.

## **5.5. Gestão do desenvolvimento da rede**

O objetivo da aplicação do AHP aos problemas de desenvolvimento da rede é não só verificar o alinhamento das alternativas possíveis aos interesses das partes interessadas, mas também melhorar a compreensão dos problemas e necessidades existentes e em consequência estimular o desenvolvimento de soluções inovadoras.

Alguns problemas são repetitivos, como por exemplo a conceção de um novo posto de transformação para alimentar uma zona habitacional, ainda que inclua sempre algumas particularidades, pelo que seria um desperdício de recursos conceber diferentes alternativas e repetir o AHP para todos os problemas. Assim, estabelece-se o fluxograma da conceção aqui preferida, representado na **Figura 5.7**, em que a aplicação completa do AHP caso a caso é deixada para os maiores investimentos, os quais porventura acatam os maiores riscos e requerem maior consideração.



**Figura 5.7.** Fluxograma – Abordagem de tomada de decisões de desenvolvimento da rede.

O valor de 100kVA como limite de decisão é aqui usado meramente como exemplo. Optou-se por usar a potência para tal, pois costuma ser um fator de grande influência nos critérios definidos e de aumento dos riscos envolvidos. No entanto, é mais indicado usar uma combinação de nível de tensão e de potência ou um nível de potência para cada escalão de tensão.

Devem ser definidos vários problemas padrão e as soluções padrão respectivas obtidas através do AHP, estabelecendo os limites em que as soluções-padrão são aplicáveis, as decisões que devem obrigatoriamente ser seguidas, como esquemas de proteção ou modelos e fabricantes a ser usados, e o controle de riscos necessário durante a implementação. Pretende-se com isto acomodar liberdade para pequenas variações sem que tal possa pôr em causa o AHP realizado. Periodicamente ou quando forem determinados diferentes pesos relativos dos critérios de decisão, deve ser repetido o AHP para os problemas padrão.

Em última análise, cabe aos responsáveis pela tomada de decisões questionar a alternativa selecionada no fim desse processo.

### **5.5.1. Aplicação do AHP tradicional para escolha de alternativas**

Após usar o AHP para definir os pesos relativos dos critérios conforme demonstrado no ponto 5.3, o processo prossegue para priorizar alternativas de acordo com

as preferências dos decisores. O processo é descrito por Mu *et al* (2018). A primeira fase consiste em priorizar alternativas localmente, isto é, em relação a cada critério individualmente, o que é semelhante à definição dos pesos relativos:

- escolha da alternativa preferida em relação a cada critério, comparando as alternativas duas a duas (**Figura 5.8**);
- colocação dos resultados em matrizes, seguindo as mesmas regras para as comparações inversas, resultando numa matriz de comparações 2 a 2 por critério;
- normalização das matrizes de comparações 2 a 2, através da soma dos valores das colunas e divisão de cada elemento das matrizes pelo total da respectiva coluna;
- obtenção das priorizações/preferências gerais das alternativas, para cada matriz/critério, correspondentes às médias dos valores normalizados de cada linha;
- análise de consistência.

É aqui usado como exemplo a necessidade de conceção de uma nova linha, em que as alternativas são uma linha subterrânea ou uma linha aérea. Uma abordagem semelhante seria usada para comparação de conceções de subestações, implementação de redundâncias, entre outras decisões. No Anexo III apresenta-se o questionário completo para determinação de preferências locais.

Em relação ao critério **Segurança**, qual a alternativa preferida?

	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual	Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente		
Linha aérea	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Linha subterrânea

**Figura 5.8.** Recolha de preferências de partes interessadas – preferências locais.

Quando se trata de apenas duas alternativas, o tratamento de resultados é bastante facilitado: a normalização das matrizes produz imediatamente as preferências relativas, pois os valores normalizados dos dois resultados de cada linha são iguais, logo a média é esse valor; e a análise de consistência é dispensável, visto que apenas é realizada uma

comparação. Os resultados estão resumidos na **Figura 5.9**, onde é simples de entender as preferências do exemplo.

<b>Critério Segurança</b>	Aérea	Subterrânea	<b>Preferências</b>
Aérea	1	1/7	<b>0,125</b>
Subterrânea	<b>7</b>	1	<b>0,875</b>
<b>Soma</b>	<b>8,000</b>	<b>1,143</b>	

<b>Critério Continuidade e Qualidade de Serviço</b>	Aérea	Subterrânea	<b>Preferências</b>
Aérea	1	1/3	<b>0,250</b>
Subterrânea	<b>3</b>	1	<b>0,750</b>
<b>Soma</b>	<b>4,000</b>	<b>1,333</b>	

<b>Critério Otimização de Custos</b>	Aérea	Subterrânea	<b>Preferências</b>
Aérea	1	<b>5</b>	<b>0,833</b>
Subterrânea	1/5	1	<b>0,167</b>
<b>Soma</b>	<b>1,200</b>	<b>6,000</b>	

<b>Critério Impacto Social e Ambiental</b>	Aérea	Subterrânea	<b>Preferências</b>
Aérea	1	1/4	<b>0,200</b>
Subterrânea	<b>4</b>	1	<b>0,800</b>
<b>Soma</b>	<b>5,000</b>	<b>1,250</b>	

**Figura 5.9.** Resultados – preferências locais.

Por fim, para determinar a alternativa preferida ao nível global, basta multiplicar os pesos relativos dos critérios pelas preferências locais, obtendo assim a soma ponderada. Na **Tabela 5.5** representam-se os resultados obtidos, usando os valores obtidos em 5.3.

**Tabela 5.5.** Resultado final do AHP tradicional.

<b>Critérios</b>	<b>Segurança</b>	<b>Continuidade e Qualidade de Serviço</b>	<b>Otimização de custos</b>	<b>Impacto Social e Ambiental</b>
<i>Peso relativo</i>	<i>0,586</i>	<i>0,107</i>	<i>0,055</i>	<i>0,252</i>
<b>Preferências locais</b>				
Linha Aérea	0,125	0,250	<b>0,833</b>	0,200
Linha Subterrânea	<b>0,875</b>	<b>0,750</b>	0,167	<b>0,800</b>
<b>Preferências ponderadas</b>				
Linha Aérea	0,073	0,027	0,046	0,050
Linha Subterrânea	0,512	0,080	0,009	0,202
				<b>Prioridade final</b>
				<b>0,196</b>
				<b>0,804</b>

Mu *et al* (2018) sugerem uma subsequente análise de sensibilidade aos resultados, variando os pesos relativos dos critérios, por exemplo simulando pesos iguais para todos os critérios, para verificar possíveis alterações à alternativa preferida.

Em suma, o AHP permite, no mínimo, obter uma imagem das alternativas preferidas das partes interessadas e retirar alguma da subjetividade da decisão.

### **5.5.2. Seleção de Subcritérios**

Como já referido, é aqui preferido decompor os critérios em subcritérios. A fim de manter coerência, os subcritérios e os seus pesos relativos devem ser mantidos para os diversos tipos de problemas e diversos tipos de equipamentos e revistos periodicamente. Inevitavelmente, é crucial a participação de peritos para tal, para a seleção de alternativas e para a aprovação final da decisão. Uma possível decomposição dos critérios é:

- Segurança – segurança de pessoas e segurança de bens (diferenciadas entre implementação e utilização) e segurança expectável durante manutenção, influenciada pela fiabilidade e manutibilidade (influenciam respetivamente o número de intervenções e os perigos nas mesmas).
- Continuidade e Qualidade de Serviço – fiabilidade/taxa de falhas, manutibilidade, logística de manutenção (considerando também a diferenciação em relação às práticas e equipamentos já utilizados pela organização), esforço para controlo de riscos (estratégia de manutenção necessária), redundâncias e capacidade de adaptação a avarias, capacidade de expansão. A criticidade da infraestrutura tem de ser tida em conta para definir os escalões.
- Otimização de custos – custos de implementação, custos de inspeção e manutenção ou indicadores integrados de LCC, como o VAL.
- Impacto Social e Ambiental – impacto social permanente (linhas ou subestações esteticamente pouco atrativas, por exemplo), impacto social temporário (durante construção), impacto ambiental, capacidade para expansão sem aumentar impactos.

Alguns subcritérios estão repetidos devido ao seu impacto em várias dimensões.

Em relação ao esforço para controlo de riscos (estratégia de manutenção necessária), idealmente tal deverá provir de uma análise FMEA/FMECA e do histórico de falhas.

O impacto ambiental, com impacto nas redes de distribuição, pode ser afetado por vários aspetos: rendimento energético, efeito na vida animal da zona em questão (linhas aéreas, etc.), tempo de vida útil esperado, materiais gastos (fabrico e durante utilização), utilização e possíveis fugas de SF<sub>6</sub>, emissões de dióxido de carbono, possíveis perdas de

óleo (transformadores de potência e cabos subterrâneos preenchidos com óleo). Tal depende do tipo de equipamento, tal como acontece com o nível de exigência a aplicar a outros critérios, pelo que nesses casos os escalões devem ser definidos para os vários equipamentos.

O objetivo é iniciar a implementação do SGA utilizando subcritérios já utilizados pela organização e depois evoluir através de avaliação de desempenho e melhoria contínua. A fim de promover o esforço pela melhoria contínua, os escalões, quando usados, devem considerar não só valores típicos da organização, mas também padrões a nível mundial, na medida do que seja concebível para a organização. O uso do AHP tradicional, devido à sua maior subjetividade, deve restringir-se a problemas complexos ou singulares em que é difícil a definição de escalões.

## **5.6. Gestão da Manutenção e Atividades opcionais**

Existem na literatura muitas abordagens para priorização de atividades de manutenção das redes de distribuição, com consideração dos múltiplos critérios envolventes. Por exemplo, Rosa (2017) desenvolveu um método de priorização de intervenções em transformadores de potência com base no rácio benefício/custo. Primeiramente são determinados os pesos relativos (obtidos informaticamente mediante consulta com peritos da EDP Distribuição, hoje em dia, E-Redes) dos critérios de decisão, em seguida são quantificados (através de escalões e cálculos diretos) os benefícios em intervir em cada transformador de potência segundo cada critério, depois são utilizados os pesos dos critérios para obter a soma ponderada dos benefícios para cada transformador, o que permite calcular o rácio benefício/custo de intervenção. Os transformadores com melhor rácio benefício/custo de intervenção são selecionados para intervenção até esgotar o orçamento disponível.

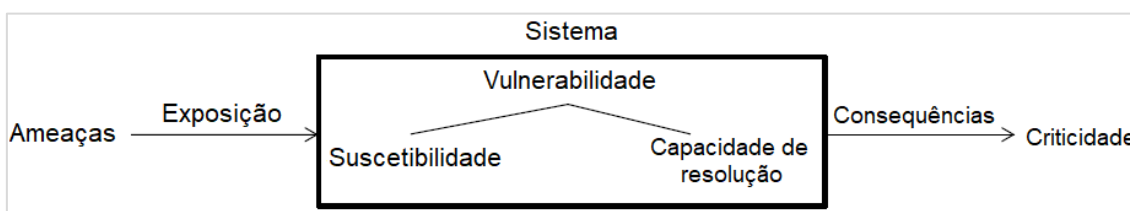
Aqui, pretende-se com as atividades descritas em seguida seguir a abordagem ao risco referida nas ISO 5500x, como referido anteriormente em 3.2.4, concretamente:

- definir o que constitui criticidade e como tal deve ser incluído na quantificação de riscos, tendo em conta os critérios já determinados;
- partindo dos quatro critérios definidos anteriormente em 5.3, definir os subcritérios e sistematizar como os quantificar, em alinhamento com os objetivos da organização;
- definir os métodos de monitorização e apresentação dos riscos;

- definir metodologia para identificar oportunidades de diminuição dos riscos.

A quantificação e análise dos riscos aqui pretendida usa como metodologia de base o AHP com utilização de subcritérios e escalões. Novamente, são usados os pesos relativos dos quatro critérios globais determinados anteriormente para refletir os de maior interesse para as partes interessadas. A quantificação de cada critério é obtida usando a soma ponderada de subcritérios, os pesos relativos dos quais devem ser determinados por peritos nas várias matérias. A diferença nesta abordagem em relação ao AHP tradicional é que aqui, em relação ao risco, pretende-se localizar os casos em que o risco é maior, pelo que os escalões mais elevados corresponderão aos casos mais desfavoráveis.

Na abordagem de controlo de riscos, com foco na continuidade e qualidade de serviço, referida por Hofmann *et al* (2012), a vulnerabilidade de um sistema é dividida em duas dimensões, conforme representado na **Figura 5.10**.



**Figura 5.10.** Vulnerabilidade de um sistema (Traduzido (Hofmann *et al*, 2012)).

As ameaças são provenientes do meio ambiente, da condição técnica do ativo ou da mão humana (intencional ou não).

A suscetibilidade refere-se à probabilidade de uma ameaça levar a uma falha no sistema. A capacidade de resolução está relacionada com a capacidade do sistema e da organização de lidar com um evento indesejado após a sua ocorrência, reduzindo efeitos negativos e/ou repondo o funcionamento normal, o que depende de aspetos técnicos, recursos humanos e da estrutura da organização. Hofmann *et al* (2012) referem alguns aspetos que influenciam a suscetibilidade e a capacidade de resolução, conforme presente na **Tabela 5.6**.

**Tabela 5.6.** Exemplos de aspetos internos (dependentes do funcionamento da organização) com influência na suscetibilidade e na capacidade de resolução (Hofmann *et al*, 2012).

<b>Tipo de aspetos</b>	<b>Suscetibilidade</b>	<b>Capacidade de resolução</b>
Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condição técnica do ativo</li> <li>- Carga operacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acumulação de itens em atraso para reparação</li> <li>- Disponibilidade de equipamentos e peças sobressalentes</li> <li>- Duração de reparações</li> <li>- Localização de ativos em falha</li> <li>- Redundâncias</li> <li>- Automação da restauração de serviço</li> </ul>
Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade para manutenção preventiva</li> <li>- Competências de inspeção</li> <li>- Erro humano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade para manutenção corretiva</li> <li>- Competências de reparação</li> </ul>
Organizacionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade de informação</li> <li>- Coordenação entre operadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade de comunicações</li> <li>- Coordenação da restauração do sistema</li> <li>- Existência de planos de contingência</li> </ul>

Em relação às consequências, ao contrário da vulnerabilidade, são uma característica externas ao sistema, ou seja, estão fora do controlo da organização. No entanto, definem a criticidade dos eventos de falha, pelo que em consequência definem a criticidade dos ativos.

Esta divisão em várias dimensões ajuda a compreender que podem existir várias oportunidades para abordar as ameaças à continuidade e qualidade de serviço.

### **5.6.1. Definição de ativos críticos**

A definição de ativos críticos identifica para a organização onde é mais proveitoso concentrar esforços de monitorização e controlo de riscos.

Em 4.3.2 viu-se que em Portugal a própria regulação define vários clientes críticos, como forças de segurança ou saúde – algo não incomum no resto do mundo como entendido pelo documento de Hofmann *et al* (2012). Os padrões de fornecimento definidos pela regulação também dão mais importância a certas zonas e a tensões mais elevadas (pois representam mais potência e mais clientes servidos).

A simulação de avarias em software de representação da rede e de fluxo de energia também permite determinar ativos críticos ao identificar interdependências entre ativos (Hofmann *et al*, 2013).

Estes critérios são definidos como críticos seguindo apenas o critério de continuidade e qualidade de serviço. No entanto, além dos ativos determinados críticos devido aos clientes que servem, seguindo a filosofia das ISO 5500x, também assim se devem considerar aqueles que apresentam riscos ou impactos reais acima dos limiares estabelecidos pela organização.

### 5.6.2. Definição e Quantificação de subcritérios

Uma possível decomposição dos critérios é:

- Segurança – segurança de pessoas e segurança de bens.
- Continuidade e Qualidade de Serviço – efeito no fornecimento, obtido através de cálculos específicos, e efeito na qualidade da energia ou no rendimento energético.
- Otimização de Custos – custos de manutenção (em caso de falha) ou indicadores reconhecidos como o Valor Anual Equivalente.
- Impacto Social e Ambiental – impacto social e impacto ambiental, devido a evento de avaria e à sua resolução.

Em comparação com o desenvolvimento da rede, são obviamente menos critérios, o que se deve a que muitas das questões são estabelecidas na fase de conceção.

Pretende-se aqui considerar o risco pela sua definição geralmente aceite de probabilidade×efeito (Petchrompo *et al*, 2019), usando escalões para tal, ou seja, como as matrizes de risco já bastante empregues na técnica.

A probabilidade de ocorrer um efeito indesejado trata-se da suscetibilidade, como visto acima, que tipicamente depende da condição do ativo ou de falha de projeto em não considerar todos os riscos ao nível das condições do meio ambiente e da mão humana. Como já visto, a condição do ativo pode ser avaliada por inspeções ou estimada através de modelação usando o historial de falhas do mesmo equipamento nas mesmas condições.

É útil definir o número e descrição dos escalões, havendo muitas alternativas para tal, como exemplificado na **Tabela 5.7**. No entanto, os valores numéricos correspondentes à probabilidade dependem do tipo de ativo.

**Tabela 5.7.** Exemplos de escalões de probabilidade

Escalão	Probabilidade	Exemplos	
		Descritivo	Ao nível da intervenção necessária
1	?	Insignificante	Sem anomalias. Plano de inspeção e manutenção preventiva padrão
2	?	Baixa	Detetado início de anomalias. Aumento de frequência de inspeções
3	?	Média	Reparação necessária para atingir vida útil padrão. Iniciado histórico para controlo de condição mais preciso
4	?	Alta	Reparação necessária para evitar deterioração que leve ao escalão 4
5	?	Muito Alta	Avaria prevista no próximo ano, necessário recondicionamento profundo

Em relação à segurança, por exemplo, na metodologia de análise de riscos descrita por Catrinu *et al* (2010) inclui-se uma matriz de risco em que são usados os escalões representados na **Tabela 5.8**. Novamente, a descrição das consequências facilita a compreensão dos escalões.

**Tabela 5.8.** Escalões para o impacto na segurança de pessoas (Catrinu *et al*, 2010)).

Escalões	Impacto	Consequência
1	Insignificante	Sem feridos
2	Pequeno	Pequenas feridas
3	Médio	Uma pessoa com feridas médias graves
4	Bastante sério	Mais do que uma pessoa com feridas graves
5	Catastrófico	Uma ou mais mortes ou mais de 10 feridos

Em relação ao subcritério efeito no fornecimento, existem muitas conceções na técnica para o quantificar, incluindo a noção de criticidade. Rosa (2017) definiu um valor limiar de TIEPI para definir risco elevado mas sem incluir a noção de criticidade do ativo. Márquez *et al* (2020b) incluíram a consideração do número de clientes afetados ou se são clientes críticos para definir vários escalões de severidade, desse modo considerando a criticidade. Vu *et al* (2018) definiram a quantificação através de duas equações, as quais capturam as noções de criticidade e capacidade de reparação mas não a existência de redundâncias:

- Energia Não-Distribuída [\$] = Fator de carga em relação ao ano [%] × Carga servida [MW] × Tempo de restauro[h] × Valor da Fiabilidade para o Cliente [\$/MWh] (eq. 11)

- Carga em risco [MW]= Probabilidade de ocorrência simultânea [%] × Fator de carga em relação ao ano[%] × Carga servida [MW] × Tempo de restauro[h] × Valor da Fiabilidade para o Cliente [\$/MWh] (eq. 12)

em que: o tempo de restauro é o tempo de intervenção da automação para restauro da ligação ou o tempo de reparação quando tal não é possível; o Valor da Fiabilidade para o Cliente depende do tipo de cliente.

Em relação aos custos, aplica-se o mesmo que em relação à probabilidade de avaria, tal depende do ativo em questão.

Por fim, em relação aos impactos social e ambiental, tal passará pela consideração de impactos como libertação de gases nocivos para o ambiente, derrames de óleo, incêndios, explosões, constrangimentos na circulação de pessoas devido a intervenções, o que obviamente também depende dos tipos de ativos.

Em última análise, pretende-se coincidir o número de escalões para cada critério e para as probabilidades e pretende-se coincidir os escalões de cada critério em termos do nível de aceitação dos impactos. Pretende-se com tal simplificar a construção da matriz de risco e garantir a significância dos pesos relativos dos critérios e subcritérios.

### 5.6.3. Apresentação e monitorização de riscos

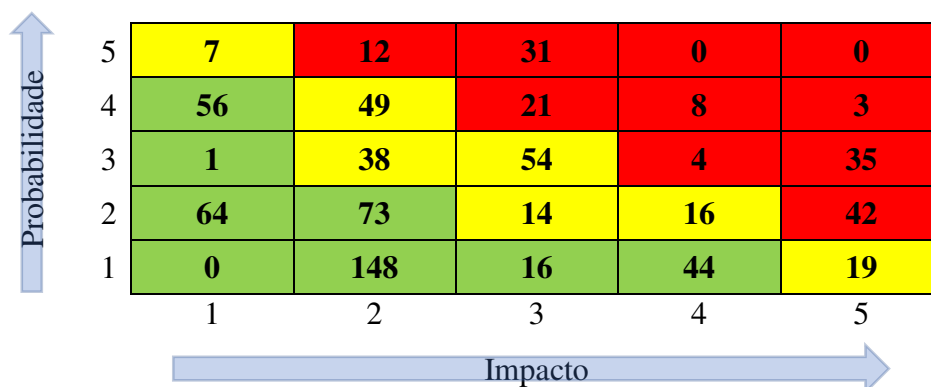
Existem várias formas na técnica de apresentar graficamente os riscos.

Pretendendo o risco global de um ativo, tal é facilmente calculável: primeiro aplica-se a fórmula para o risco (probabilidade × efeito) para cada subcritério e em seguida, aplicando os pesos relativos dos critérios e subcritérios, obtém-se a soma ponderada. Desta forma obtém-se uma classificação unidimensional para o risco sobre cada ativo, que pode ser facilmente representada sobre um eixo juntamente com o risco global dos restantes ativos (A1 a A7), conforme na **Figura 5.11**, obtendo uma imagem simples do risco na rede. De recordar que um resultado mais elevado representa maiores riscos.



**Figura 5.11.** Apresentação de riscos segundo classificação unidimensional.

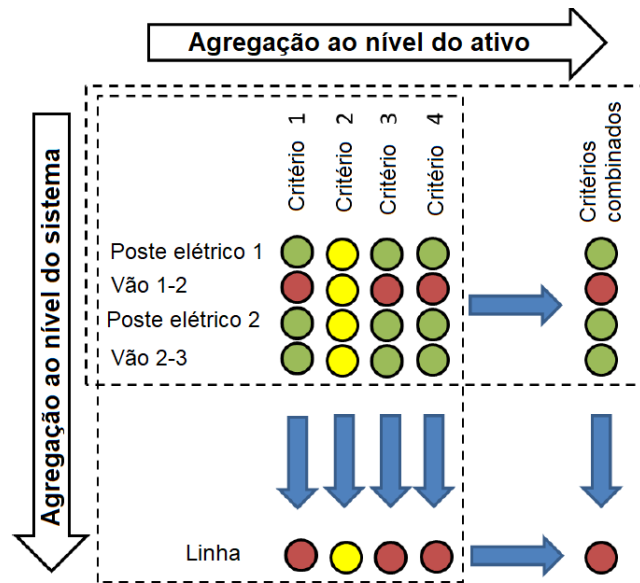
Como já referido, a ferramenta mais utilizada neste sector para apresentação de resultados quanto ao risco é a matriz de risco, representada como exemplo na **Figura 5.12**. A matriz pode ser elaborada para cada ativo individualmente, mas aqui pretendeu-se novamente capturar uma imagem da rede em geral, em que em cada célula se inseriu o número de situações nesse nível de risco, sendo que se pode representar apenas o pior critério de cada ativo (os ativos apenas surgem uma vez na matriz) ou pode-se representar a classificação de risco de todos os critérios de todos os ativos (ativos surgem mais do que uma vez, mas captura-se a totalidade das situações inaceitáveis). O vermelho corresponde a situações consideradas inaceitáveis, o amarelo a situações intermédias a necessitar de algum controlo de risco adicional e o verde a situações com controlo de risco básico.



**Figura 5.12.** Exemplo de matriz de risco.

Hofmann *et al* (2013) apresenta outro modo de apresentação para a representação do risco segundo cada critério, aplicável particularmente a ativos lineares como linhas, conforme representado na **Figura 5.13**, aqui adaptado para também incluir os vãos entre postes/apoios de modo a incluir os riscos na própria linha nos vários segmentos. A agregação ao nível do ativo individual permite identificar onde estão os elos mais fracos no sistema e ao nível do sistema-linha permite classificar o risco global para a linha.

O objetivo destes vários tipos de apresentação é, além de quantificar o risco, demonstrá-lo, recordando que a transparência e o controlo de informação sobre os ativos são dos principais objetivos da Gestão de Ativos segundo as ISO 5500x. Tal ajuda a demonstrar a relação entre alocação necessária de investimento e riscos atuais, um dos principais problemas da Manutenção (Petchrompo *et al*, 2019).



**Figura 5.13.** Apresentação de risco para ativos lineares (Adaptado (Hofmann *et al*, 2013) para também incluir vãos entre postes).

#### 5.6.4. Tratamento de riscos

A abordagem principal aqui pretendida é a de priorizar intervenções de reparação nos ativos com risco inaceitável. Rosa (2017) distingue vários tipos de intervenção a fim de recuperar ou melhorar a condição de um ativo:

- Conservação - intervenção ligeira, realizada quando o ativo se encontra em boas condições internas de funcionamento a fim de tentar garantir que atinge o tempo de vida útil esperado;
- Beneficiação - intervenção realizada para tentar melhorar determinadas características do ativo para o dotar de capacidades diferentes do que para o que foi concebido;
- Reabilitação - intervenção para recuperar a condição do ativo, aumentando a vida útil e/ou as condições operacionais.

No entanto, recordando as dimensões do risco representadas anteriormente na **Figura 5.10**, existem várias opções para reduzir as consequências de uma avaria, ao atuar em função de diminuir a suscetibilidade de falha ou aumentar a capacidade de resolução, o que tem efeitos também nos outros critérios de tomada de decisão, conforme descrito na **Tabela 5.9**.

**Tabela 5.9.** Opções de tratamento da vulnerabilidade e possível impacto nos critérios de decisão.

Opção	S	C&Q	OC	ISA
Intensificar a estratégia de inspeção e manutenção, por exemplo empregando técnicas de controlo de condição a fim de intervir no momento correto, com maior confiança nos riscos atuais	▲	▲	▲	▲
Substituição de um ativo ou tipo de ativos por uma nova tecnologia com melhores características	▲	▲	▲	▲
Investimento no desenvolvimento de competências	▲	▲	-	-
Investimento na qualidade da informação (sistemas de informação, capacidade de comunicação, etc.)	▲	▲	▲	
Alterações ao esquema de automação de proteção ou da configuração da rede ou posto elétrico, introduzindo soluções com maior disponibilidade		▲		
Aumentar o número de equipas de inspeção e manutenção		▲		▲

Legenda: S – Segurança de pessoas e bens; C&Q – Continuidade e Qualidade de Serviço; OC – Otimização de Custos; ISA – Impacto Social e Ambiental

Analisando esta multitude de opções, é benéfica uma análise custo/benefício, por exemplo como a de Rosa (2017), já referida no início deste ponto 5.6, quantificando os benefícios através dos pesos relativos dos critérios. A esta análise podem juntar-se os investimentos opcionais patrocinados pelo regulador, como descritos anteriormente em 4.3, por exemplo em tecnologias *smart grid* ou em proteção ambiental.

## 5.7. Avaliação de desempenho e melhoria contínua

Tal como todos os elementos do SGA, o sistema de tomada de decisões tem de ser alvo de avaliação de desempenho, conforme requerido pela ISO 55001 (2014). Uma vez que é o motor por detrás de todo o SGA, serve como avaliação do conjunto de gestão de ativos.

Tendo em conta os objetivos definidos no início do capítulo para o sistema de tomada de decisões, a sua avaliação tem de passar pela consideração dos critérios definidos, o que deve ser feito junto das partes interessadas.

O processo de tomada de decisões para os responsáveis por tal foi facilitado, acelerado ou realizado com mais confiança? Os critérios, subcritérios e escalões usados captam as dimensões necessárias ou é necessário repensar as mesmas?

A atitude face ao risco é adequada, demasiado restritiva ou muito despreocupada?

A abordagem capta e transmite os riscos atuais da rede? As várias partes interessadas estão mais sensibilizadas quanto a esses riscos?

E, crucial e mais facilmente quantificável, produziu-se melhores resultados, em relação aos vários critérios? Foram atingidos os padrões de funcionamento definidos na regulação? Ou o esforço adicional foi despropositado?

Através desta avaliação procura-se atingir a otimização pretendida entre riscos, custos e desempenho dos ativos.

A melhoria contínua do sistema de tomada de decisões passa obrigatoriamente pela atualização dos critérios e subcritérios usados, retirando os que representam esforço e recursos sem compensar com informação adicional para as decisões e adotando outros critérios de modo a capturar outras dimensões dos problemas, e também pela reavaliação dos pesos relativos e pela substituição ou refinamento das metodologias de quantificação.

## **5.8. Ferramenta desenvolvida**

Em suporte informático (folha de cálculo) foi desenvolvida uma ferramenta para aplicação das metodologias de cálculo e representação de riscos, de acordo com a conceção do sistema de decisões referido neste Capítulo. Apesar de se tratar apenas de um protótipo, permitiu automatizar facilmente a metodologia aqui proposta, um dos objetivos para a mesma.

## 6. Conclusão

A Gestão de Ativos conforme definida nas ISO 5500x representa um consenso sobre as melhores práticas a esse respeito. No entanto, apenas introduz noções de base e objetivos. Nesse sentido, é uma ferramenta com elevadas oportunidades ao nível do enquadramento de atividades com o plano organizacional, ou seja, útil ao nível estratégico e tático. Ao nível operacional, só por si como ferramenta de gestão de ativos não é suficiente, motivo pelo qual as próprias ISO 5500x, a título exemplificativo, direcionam para outras técnicas bem difundidas, ficando a cargo do próprio utilizador escolher a sua abordagem.

Adicionalmente, os requisitos da ISO 55001 (2014) são vagos, o que significa que obter a certificação apenas significa alinhamento com as melhores práticas de gestão de ativos, mas não que foi alcançado um nível de excelência.

O que está por detrás da abordagem à tomada de decisões e distingue a Gestão de Ativos é a consideração dos quatro princípios fundamentais: valor dos ativos, alinhamento de objetivos e critérios, definição da posição da liderança como direção de foco e a procura pela garantia dos resultados pretendidos dos ativos.

Para tal, conforme observado no Capítulo 3, a Gestão de Ativos envolve múltiplas disciplinas, o que significa que a sua implementação e otimização dependem de perícia em áreas variadas. Pretender estabelecer uma Gestão de Ativos estruturada requer ser mestre em vários ofícios.

Em relação às atividades dos operadores de redes de distribuição elétrica, verificou-se que é um sector a que as ISO 5500x se direcionam: elevada quantidade e diversidade de ativos; sistemas complexos com interdependências difíceis de definir; padrões elevados de continuidade e qualidade de serviço; impacto em questões com interesse da sociedade, como a ecologia; e evolução contínua da tecnologia e das melhores práticas.

Verificou-se no entanto que as melhores práticas de gestão das redes já são concordantes com a filosofia das ISO 5500x. Alguns aspetos, como o alinhamento com o interesse dos clientes na continuidade e qualidade do serviço, fazem efetivamente parte da regulação aplicável aos operadores de rede. Outros, como a atenção à segurança de

peças e bens, já fazem parte das práticas comuns da disciplina de eletrotécnica desde o seu começo.

Uma vantagem que as ISO 5500x podem trazer a um operador de rede de distribuição é ao nível da reputação, visto que a certificação demonstra que a organização segue as melhores práticas mundiais. No entanto, as ISO 5500x são propositadamente vagas e abrangentes, pelo que é questionável se a certificação por si só traz vantagens práticas para uma organização.

De facto, ao nível prático, a única necessidade da gestão das redes de distribuição, cuja solução não se encontrou estabelecida concretamente na técnica, é a abordagem à tomada de decisões. Todas as pessoas são clientes de um operador de rede de distribuição, pelo que as atividades dos operadores são alvo de bastante escrutínio por muitas partes interessadas.

Assim, pretendeu-se no Capítulo 5 desenvolver uma abordagem estruturada de tomada de decisões, iniciando-se no estabelecimento da política de gestão de ativos, até à definição da metodologia de seleção de conceções de desenvolvimento da rede e à metodologia de controlo de riscos durante a vida útil dos ativos. Pretendeu-se que a abordagem empregasse os princípios fundamentais da Gestão de Ativos e que fomentasse o controlo de riscos e a melhoria contínua.

As técnicas empregues, como o AHP ou as matrizes de risco, são ferramentas já largamente discutidas na técnica. O objetivo principal não foi a concretização de uma solução prática (o que requer maior aplicação de conceitos da engenharia eletrotécnica), mas sim descrever como incluir os princípios fundamentais definidos pelas ISO 5500x na estruturação do sistema. A solução desenvolvida possibilita um nível elevado de implementação de automação no processo de tomada de decisões na gestão destas redes, como perceptível na ferramenta desenvolvida em suporte informático, algo que é muito desejado devido à quantidade massiva de ativos (Márquez *et al*, 2020b).

## **6.1. Lacunas da Dissertação**

Uma lacuna da dissertação foi não ter procurado a opinião de peritos nas atividades das redes de distribuição para definir os pesos relativos dos critérios ou se deveriam ter sido considerados outros critérios. Em relação aos critérios utilizados, no entanto, estes parecem estar de acordo com o observado na literatura, em particular nos documentos do CIGRE, os quais são alvo de participação ao nível mundial.

A lacuna principal foi não se ter testado o sistema implementado com um ou mais casos reais, determinar as respostas obtidas pelo sistema e conferenciar, por exemplo, com responsáveis de gestão de ativos da E-Redes se as soluções fornecidas correspondem ao que se faria na prática e, principalmente, se o processo introduz vantagens desejadas ao nível da transparência e identificação de valores e riscos. Tal poderia fornecer conclusões quanto à utilidade da Gestão de Ativos para estas empresas, no entanto, na sua essência, seria uma análise à conceção adotada e não à metodologia de Gestão de Ativos em si.

## 7. Bibliografia

- Blackmore, P.; Leeprechanon, N. (2015). Improving network reliability through effective asset management. Em: *2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT ASIA)*, Bangucoque (Tailândia), Novembro 2015, Páginas 1 – 9.
- Brown, R. (2009). *Electric power distribution reliability*. 2ª Edição, CRC Press.
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. SpringerBriefs in Operations Research
- Campos, J.; Sharmab, P.; Gabiriac, U. G.; Jantunend, E.; Baglee, D. (2017). A big data analytical architecture for the asset management. Em: *9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems*, Copenhaga (Dinamarca), Junho 2017, Procedia CIRP 64, Páginas 369 – 374.
- Catrinu, M. D.; Nordgård, D.E. (2010). Incorporating risk analysis and multi-criteria decision making in electricity distribution system asset management. Em: *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*, Volume 1, Taylor & Francis Group, Páginas 393-400
- CEDR (Conference of European Directors of Roads). (2017). *Implementation Guide for an ISO 55001 Management System – A Practical Approach for the Roads Sector in Europe*. Conference of European Directors of Roads. Consultado em 12-04-2020 em:  
<https://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CEDR-Contractor-Report-2017-1-Implementation-Guide-for-an-ISO-55001-Managementt-System.pdf>
- Chudnovsky, B. (2017). *Transmission, Distribution, and Renewable Energy Generation Power Equipment - Aging and Life Extension Techniques*. 2ª Edição, CRC Press.
- CIGRE Study Committee B3. (2019). *Substations*. CIGRE Green Books. Springer
- CIGRE Technical Brochure (TB) 422. (2010). *Transmission Asset Risk Management*. CIGRE Working Group C1.16.
- CIGRE Technical Brochure (TB) 541. (2013). *Asset Management Decision Making using different Risk Assessment Methodologies*. CIGRE Working Group C1.25.
- CIGRE Technical Brochure (TB) 734. (2018). *Management of risk in substations*. CIGRE Working Group B3.38.
- CIGRE Technical Brochure (TB) 761. (2019). *Condition assessment of power transformers*. CIGRE Working Group A2.49.

- CIGRE Technical Brochure (TB) 787. (2019). *ISO series 55000 standards: Implementation and information guidelines for utilities*. CIGRE Working Group C1.34.
- CIGRE Technical Brochure (TB) 820. (2020). *Optimal power system planning under growing uncertainty*. CIGRE Working Group C1.39.
- Decreto-Lei n.º 29/2006. Diário da República n.º 33/2006, Série I-A de 2006-02-15. Ministério da Economia e da Inovação.
- Decreto-Lei n.º 172/2006. Diário da República n.º 162/2006, Série I de 2006-08-23. Ministério da Economia e da Inovação.
- Decreto Regulamentar n.º 1/1992. *Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão*. Diário da República n.º 41/1992, Série I-B de 1992-02-18. Ministério da Indústria e Energia.
- Dorr, D.; Green, J.; Roark, J. (2016). Transitioning of Distribution Asset Management to a Prescriptive Approach. Em: *CIGRE Session 2016*. Paris (França), CIGRE, Referência C1-101
- E-Redes. (2016). *Soluções dissuasoras de nidificação e de poiso de cegonhas em apoios de linhas aéreas AT e MT*. Direção de Tecnologia e Inovação, DRE C65-310 (Documento de Regras de Execução).
- E-Redes. (2018). *Manual de Ligações à rede eléctrica de serviço público - Guia técnico e logístico de boas práticas*. 9ª Edição. Consultado em 09-10-2020 em: [https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o\\_Manual\\_Ligacoes\\_Rede\\_2018\\_9%C2%AA\\_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Ligacoes_Rede_2018_9%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf)
- EN 16646. (2014). *Manutenção no âmbito da gestão de ativos físicos*. Comité Europeu de Normalização (CEN).
- EN 50160. (2010). *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks*. Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC).
- ERSE. (2017). *Regulamento de Acesso às Redes e às Interligações do setor eléctrico*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- ERSE. (2018). *Guia sobre a Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Consultado em 19-05-2020 em: [http://www.erse.pt/pt/electricidade/DistribuicaoBT/Documents/Guia%20-%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20El%C3%A9trica-BT\\_vf.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/DistribuicaoBT/Documents/Guia%20-%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20El%C3%A9trica-BT_vf.pdf)

- ERSE. (2020). *Regulamento Tarifário do setor elétrico*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- ERSE. (2021a). *Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico e do Setor do Gás Natural*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- ERSE. (2021b). *Regulamento da Qualidade de Serviço do setor elétrico e do setor do gás natural*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- Fernández, J. F. G.; Márquez, A. C.; López-Campos, M. A. (2016). Customer-oriented risk assessment in network utilities. *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 147, Páginas 72 – 83.
- Förster, O.; Zdrallek, M. (2017). Efficient decision making supported by ISO 55000. Em: *24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution*, Junho 2017, 1ª Edição, Páginas 2711 – 2714.
- de la Fuente, A.; González-Prida, V.; Crespo, A.; Gómez, J. F.; Guillén, A. (2018). Advanced techniques for assets maintenance management. Em: *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Edição 11, Páginas 205 – 210.
- Gramme, E.; Eldrup, M.; Veierud, T.; Eriksen, T. (2016). Using indicators to screen and monitor substation vulnerability affecting security of supply. Em: *CIGRE Session 2016*. Paris (França), CIGRE, Referência B3-312
- Hastings, N. A. J. (2015). *Physical Asset Management - with an introduction to ISO 55000*. 2ª Edição, Springer.
- Hatto, P. (2013). *Standards and Standardisation – A practical guide for researchers*. União Europeia. Consultado em 08/08/2019 em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/db289e47-140b-11eb-b57e-01aa75ed71a1>
- Hofmann, M.; Kjølle, G.; Gjerde, O. (2012). Development of indicators to monitor vulnerabilities in power systems. Em: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012)*, Helsínquia (Finlândia), Junho 2012, Páginas 5869 – 5878.
- Hofmann, M.; Gjerde, O.; Kjølle, G. H.; Gramme, E.; Hernes, J. G.; Foosnæs, J. A. (2013). Developing indicators for monitoring vulnerability of power lines – case studies. Em: *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)*, Estocolmo (Suécia), Junho 2012, Páginas 1 - 4

- IAM. (2015). *Asset Management – An anatomy*. Versão 3, The Institute of Asset Management. Consultado em 11-04-2020 em:  
[https://theiam.org/media/1486/iam\\_anatomy\\_ver3\\_web-3.pdf](https://theiam.org/media/1486/iam_anatomy_ver3_web-3.pdf)
- IEC. (2015) *Strategic asset management of power networks*. International Electrotechnical Commission. Consultado em 14-12-2019 em:  
<https://basecamp.iec.ch/download/iec-white-paper-strategic-asset-management-of-power-networks/>
- IPQ (Instituto Português da Qualidade). (2019). *Documentos normativos portugueses - Princípios e regras gerais para a estrutura e redação*. Regras e Procedimentos para a Normalização Portuguesa 041/2019. Consultado em 08/08/2019 em:  
[http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/RegrasProcedimentos/Documents/RPNP%20041\\_2019.pdf](http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/RegrasProcedimentos/Documents/RPNP%20041_2019.pdf)
- ISO. (2017). Geneva soars to new heights with ISO 55001. *ISOfocus*, 120, Páginas 22 – 27. Consultado em 11-04-2020 em:  
[https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20\(2013-NOW\)/en/2017/ISOfocus\\_120/ISOfocus\\_120.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20(2013-NOW)/en/2017/ISOfocus_120/ISOfocus_120.pdf)
- ISO/IEC. (2019). *ISO/IEC Directives, Part 1. Consolidated ISO Supplement - Procedures specific to ISO*. 10ª Edição. Consultado em 08/08/2019 em:  
<https://www.iso.org/sites/directives/current/consolidated/index.xhtml>
- ISO 55000. (2014). *Asset management - Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 55001. (2014). *Asset management - Management systems – Requirements*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 55002. (2018). *Asset management - Management systems - Guidelines for the application of ISO 55001*. International Organization for Standardization (ISO).
- Kawakita, K.; Migné, R. (2020). Substations and electrical installations annual report. *Electra*, 310, CIGRE, Páginas 36 – 38.
- Kern, J. (2018). Environment comes first with ABB’s oil free transformers. *ABB Review Special Report – Transformers*, 2018, ABB Group R&D and Technology, Páginas 28 – 32. Consultado em 17-11-2020 em:  
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A6487&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

- Konstantakos, C.; Chountalas, P.; Magoutas, A. (2019). The contemporary landscape of asset management systems. *Quality - Access to Success*, Volume 20, Número 169, Páginas 10 – 17.
- Lakervi, E.; Holmes, E. J. (1995). *Electricity distribution network design*. 2ª Edição, The Institution of Engineering and Technology (IET).
- Lima, E. S.; Costa, A. (2019). Improving Asset Management under a regulatory view. Em: *Reliability Engineering and System Safety*, 190, 106523.
- Loyd, C. (2010). *Asset Management - Whole-Life management of physical assets*. ICE (Institute of Civil Engineers) Publishing.
- Marelli, M.; Argaut, P.; Lugschitz, H.; Kawakita, K. (2019). Overhead transmission lines, gas insulated lines and underground cables. *Electra*, 307, CIGRE, Páginas 40 – 47.
- Márquez, A. C.; Macchi, M.; Parlikad, A. K. (2020a). Fundamental Concepts and Framework. Em: Márquez, A. C.; Macchi, M.; Parlikad, A. K. (editores) (2020). *Value Based and Intelligent Asset Management*. Springer. Páginas 3 – 38.
- Márquez, A. C.; Rosique, A.S.; Moreu de León, P.; Fernández, J.F.G.; Diego, A.G.; Fernández, E.C. (2020b). Exploiting EAMS, GIS and Dispatching Systems Data for Criticality Analysis. Em: Márquez, A. C.; Macchi, M.; Parlikad, A. K. (editores) (2020). *Value Based and Intelligent Asset Management*. Springer. Páginas 139 – 161.
- Masoum, M. A. S.; Fuchs, E. F. (2015). *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines*. 2ª Edição, Academic Press. Páginas 1 – 104.
- Mobley, R. K.; Higgins, L. R.; Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. 7ª Edição, McGraw Hill. Páginas 1.3 – 3.176.
- Mu, E.; Pereyra-Rojas, M. (2018). *Practical Decision Making using Super Decisions v3 – An Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Springer.
- NP-EN 13306. (2007). *Terminologia da manutenção*. Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- Niven, P. R. (2014). *Balanced Scorecard Evolution - A Dynamic Approach to Strategy Execution*. John Wiley & Sons. Páginas 1 – 27.
- Palau, A. S.; Liang, Z.; Lutgehetmann, D.; Parlikad, A.K. (2019). Collaborative Prognostics in Social Asset Networks. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, Volume 92, Páginas 987 – 995.

- Parida, A.; Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 12, Número 3, Páginas 239 – 251.
- PAS 0. (2012). *Principles of PAS standardization*. The British Standards Institution (BSI).
- PAS 55-1. (2008). *Asset Management Part 1: Specification for the optimized management of physical assets*. The British Standards Institution, The Institute of Asset Management (BSI).
- PAS 55-2. (2008). *Asset Management Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1*. The British Standards Institution, The Institute of Asset Management (BSI).
- Petchrompo, S.; Parlikad, A. K. (2019). A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 181, Páginas 181 – 201.
- Portaria nº 596/2010. Regulamento da Rede de Distribuição. Diário da República n.º 147/2010, Série I de 2010-07-30. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.
- Roda, I.; Garetti, M. (2015). Application of a Performance-driven Total Cost of Ownership (TCO) Evaluation Model for Physical Asset Management. Em: *9th WCEAM Research Papers*. 2015, Springer, Volume 1, Páginas 11 – 23.
- Roda, I.; Macchi, M. (2016). Studying the funding principles for integrating asset management in operations: an empirical research in production companies. Em: *IFAC-PapersOnLine*, Volume 49, Edição 28, Páginas 001 – 006.
- Roda, I.; Macchi, M. (2018). A framework to embed Asset Management in production companies. Em: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Volume 232, 4ª Edição, Páginas 368 – 378.
- Rosa, J. P. T. M. (2017). *Priorização de Intervenções em Ativos da EDP Distribuição*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa
- Rowe, C. (2018). Sydney Trains Asset Management System & ISO 55001:2014. Em: *The Asset Journal*, Volume 12, Edição 04, Páginas 4 – 8.
- Short, T. A. (2014). *Electric power distribution handbook*. 2ª Edição, Electric Power Research Institute (EPRI).
- Smith, J.; Knowles, B. (2021). How broadband communication networks can benefit power distribution. *Electra*, 315, CIGRE, Páginas 45 – 49.

- Tasker, P.; Shaw.; Kelly, S. (2014). Standards for engineering services. Em: *3rd International Conference on Through-life Engineering Services*, Cranfield (Reino Unido), Novembro 2014, Procedia CIRP 22, Páginas 186 – 190.
- Tjernberg, L. B. (2018). *Infrastructure asset management with power system applications*. CRC Press.
- UIC (International Union of Railways). (2016). *UIC Railway Application Guide - Practical implementation of Asset Management through ISO 55001*. International Union of Railways. Consultado em 11-04-2020 em:  
[uic.org/IMG/pdf/iso\\_55000\\_implementation\\_guidelines\\_on\\_railways\\_infrastructure\\_organisations.pdf](http://uic.org/IMG/pdf/iso_55000_implementation_guidelines_on_railways_infrastructure_organisations.pdf)
- Utility Magazine. (2018). A journey into ISO 55001 certification. *Utility Magazine*, Volume 19, Agosto 2018, Páginas 66 – 67. Consultado em 14-01-2020 em:  
<https://utilitymagazine.com.au/digital-magazine/>
- Vu, T.; Pelevin, M.; Gibbs, D.; Horan, J.; Zhang, C. (2018). Modelling Substation Control and Protection Assets Condition for Reinvestment Decision Based on Risk, Cost and Performance. Em: *CIGRE Session 2018*. Paris (França), CIGRE, Referência B3-205
- Woodhouse, J. (2014). Briefing Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000. *Infrastructure Asset Management*, ICE (Institute of Civil Engineers) Publishing, Volume 1, 3ª Edição, Páginas 57 – 59.

# Anexos

# Anexo I – Documentos normativos adicionais a respeito da Gestão de Ativos

## I.1. PAS 55 – 2004 e 2008

### I.1.1. Introdução às PAS

Uma Especificação Disponibilizada ao Público (PAS, *Publicly Available Specification*) é um documento normativo, semelhante a uma norma, no sentido em que constitui um código de boas práticas.

Várias associações publicam PAS, tanto a nível nacional, como o Instituto de Normalização Britânico (BSI - *British Standards Institution*), como internacional, como a ISO e a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*).

Uma nova PAS é desenvolvida quando é identificada uma necessidade no mercado. No caso das PAS publicadas pelo BSI, o incentivo e financiamento para a elaboração de uma nova PAS costuma partir de uma ou mais organizações independentes do BSI com interesses no campo de aplicação dessa PAS (PAS 0, 2012).

Uma PAS não cumpre todos os requisitos de uma norma ISO, o nível de concordância requerido não é tão exigente e não existem tantas fases de votação/análise até à sua publicação (ISO/IEC, 2019). Por esse motivo, o seu processo de publicação é mais acelerado, podendo servir como uma forma expedita de disponibilizar uma determinada metodologia a fim de avaliar a sua utilidade como norma (PAS 0, 2012). Nesse sentido, uma PAS é um documento com tempo de vida curto. No caso das publicadas pelo BSI, são sujeitas a revisão após 2 anos (PAS 0, 2012). As publicadas pelo ISO e pelo IEC têm uma primeira revisão 3 e 2 anos após publicação, respetivamente, e após igual período a seguir a essa primeira revisão são transformadas noutra tipo de documento normativo (como uma norma) ou anuladas (ISO/IEC, 2019).

Em nenhum caso uma PAS só por si acarreta obrigação legal de cumprimento, servindo apenas como um guia prático (PAS 0, 2012). Desse modo, cabe a uma organização optar ou não pela sua certificação de acordo com uma PAS, de modo a avaliar a sua correta aplicação. A obrigação de aplicação de uma PAS pode, no entanto, ser inserida em acordos entre duas partes, por exemplo como obrigação contratual.

### I.1.2. PAS 55, partes 1 e 2

A PAS 55, partes 1 e 2, referente à gestão de ativos, foi publicada pelo BSI em 2004 e depois reeditada em 2008, com o patrocínio e desenvolvimento levado a cabo em ambas as instâncias pelo IAM (PAS 55-1, 2008). A parte 1 possui as definições de alguns termos pertinentes utilizados na PAS 55 e dita os requisitos chave necessários para implementar um sistema de gestão de ativos físicos.

O âmbito da PAS 55, como referido na parte 1 (2008), abrange a gestão de ativos físicos - “itens que possuem um valor distinto para a organização”, tal como definido no próprio documento. A PAS 55 tem em conta a gestão de outros tipos de ativos, como recursos humanos, informação, financeiros e ativos intangíveis, mas apenas na medida em que afetem a otimização da gestão dos ativos físicos. Por exemplo, a gestão dos ativos físicos pode ter impacto na reputação da organização, o que pode ser visto como um ativo intangível.

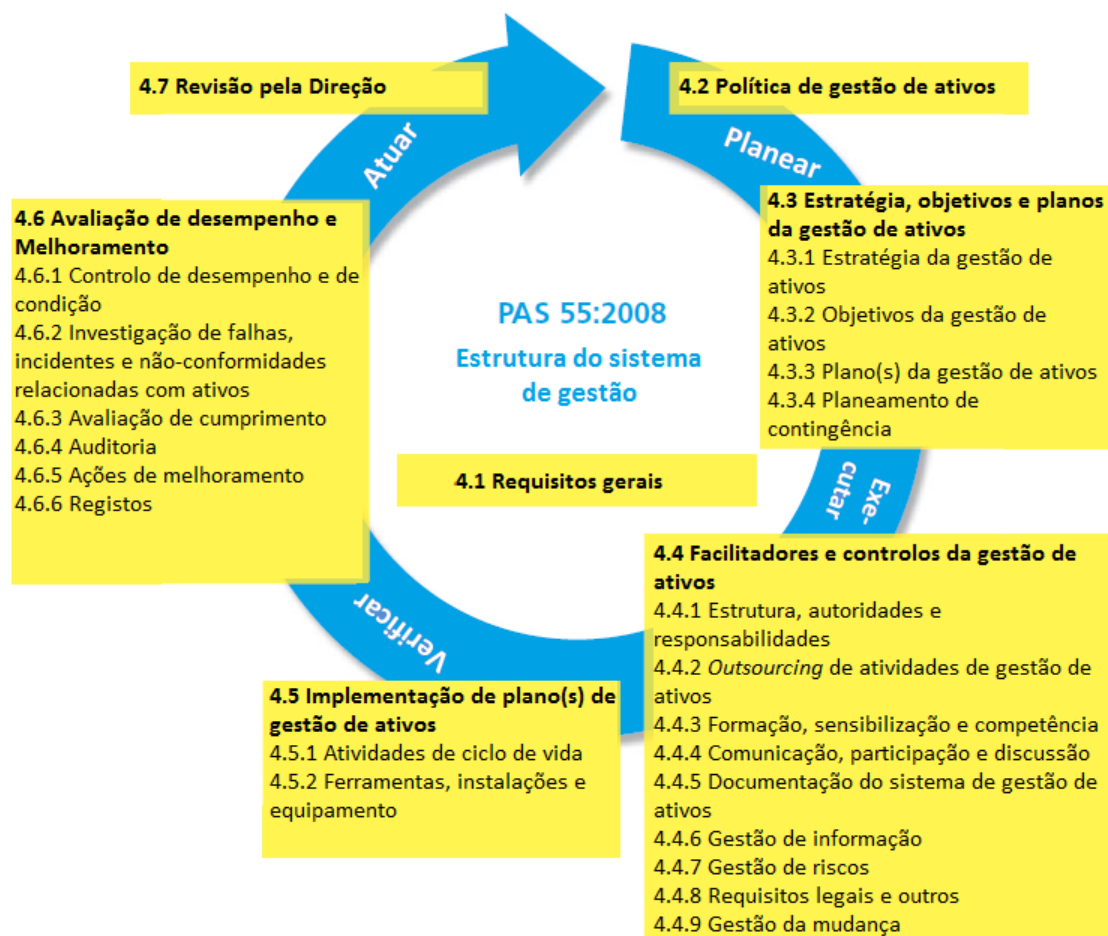
Neste documento distinguem-se os elementos fundamentais para uma aplicação bem-sucedida da gestão de ativos, sendo eles:

- da parte da direção da organização requer-se uma estrutura preparada para a introdução dos princípios da gestão de ativos, com orientação e liderança bem definidos, evitando orientações ambíguas ou aparentemente contraditórias que contribuam para a desmotivação dos colaboradores;
- em relação aos colaboradores, é necessária sensibilização, competência e motivação, bem como a coordenação respeitante aos objetivos da gestão de ativos entre colaboradores com diferentes funções e responsabilidades – estas características estão fortemente dependentes do papel da direção;
- informação adequada sobre a condição, o desempenho, os riscos e os custos dos ativos.

A PAS 55 foi escrita seguindo o modelo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*, Planear-Executar-Verificar-Atuar). O alinhamento dos requisitos da PAS 55 – que correspondem às alíneas do ponto 4 da PAS 55-1 (2008) – com o modelo PDCA está demonstrado na **Figura I.1**.

A parte 2 da PAS 55 (2008) não possui requisitos adicionais, apenas fornece recomendações e orientações adicionais em auxílio da aplicação da gestão de ativos

definida na PAS 55-1, sem atingir o detalhe da aplicação direta por uma organização, uma vez que a gestão de ativos pode ser aplicada em situações/indústrias bastante distintas.



**Figura I.1.** Estrutura da Gestão de Ativos de acordo com a PAS 55, ajustada ao modelo PDCA (Adaptado e traduzido da PAS 55-1 (2008)).

Conforme mencionado na PAS 55-2 (2008), os requisitos da PAS 55-1 (2008) devem ser considerados como o mínimo para obter uma boa gestão de ativos e não devem ser vistos como fator limitativo. Como referido em (Loyd, 2010), a PAS 55-1 (2008) serve para enquadramento das atividades de gestão de ativos: a organização necessita de compreender e documentar as atividades realizadas, a fim de demonstrar que são postas em prática e que possui competência nas mesmas (e obter certificação). No entanto, como referido, a PAS 55-1 (2008) não define o nível de sofisticação necessário dessas atividades para obter certificação – a fim de possibilitar flexibilidade de acordo com as necessidades e contexto das organizações –, pelo que não obriga à implementação das práticas mais desenvolvidas e complexas do estado da técnica.

A PAS 55 tornou-se popular mundialmente e em 2009 foi apresentada à ISO para servir como base para uma nova norma ISO. A PAS 55 encontra-se atualmente anulada devido à publicação das normas ISO 5500x sobre o mesmo tema (base de dados do BSI<sup>4</sup>).

## **I.2. NP ISO 5500x (2016)**

Em 2016 foram publicadas pelo IPQ as versões portuguesas das normas ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002, que correspondem a traduções técnicas das versões internacionais respetivas (NP ISO 55000, 2016). Até à data não foi publicada a nova versão de 2018 da ISO 55002 (base de dados do IPQ<sup>5</sup>).

As normas europeias têm obrigatoriamente de ser implementadas pelos membros do CEN, tal como o é Portugal, e tem de lhes ser dada o estatuto de uma norma nacional. No entanto, tal não se aplica aos documentos normativos ISO, a sua implementação é completamente opcional e ao critério de cada membro (Hatto, 2013), o que, quando tal ocorre como no caso da família NP ISO 5500x, é indicativo da valorização que é dada a esse documento no país membro.

De acordo com o regulamento de normalização portuguesa (IPQ, 2019), as versões portuguesas de documentos normativos internacionais podem ser idênticas, modificadas ou não-equivalentes.

Nas versões modificadas são permitidas algumas alterações técnicas ao conteúdo (eliminação ou acréscimo de alternativas de cumprimento, requisitos mais rigorosos, ensaios adicionais, etc.), mas as mesmas têm de ser identificadas no documento. Nas versões não-equivalentes o conteúdo é totalmente diferente e é dada uma referência diferente da internacional (IPQ, 2019).

Nas versões idênticas é permitida a inclusão de informação nacional adicional, desde que não seja alterado o conteúdo técnico, a estrutura ou a redação do documento. As NP ISO 5500x (2016) correspondem a versões idênticas das ISO 5500x (versões de 2014) respetivas, tendo apenas sido introduzido anexos de informação adicional respeitante a traduções de alguns termos técnicos e à correspondência entre documentos ISO e EN e documentos NP mencionados. Por esse motivo, as considerações acerca do

---

<sup>4</sup> <https://shop.bsigroup.com/SearchResults/?q=pas%2055>

<sup>5</sup> <http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/pesquisarnormas.aspx>

conteúdo das normas ISO 5500x também diz respeito às correspondentes NP ISO 5500x e vice-versa.

Como referido para as PAS e as normas ISO, os documentos normativos portugueses não têm carácter de obrigatoriedade, exceto quando, por exemplo, referidos em legislação, caderno de encargos ou contratos (IPQ, 2019).

Toda a família de normas NP ISO 5500x encontra-se em vigor à data (base de dados do IPQ<sup>6</sup>).

### **I.3. Outros documentos normativos**

Além dos documentos normativos que fazem parte da evolução até à família ISO 5500x, existem outros documentos normativos de organismos internacionais relacionados com a gestão de ativos.

De notar desde já que nenhum dos seguintes documentos apresenta requisitos nem serve como objeto de certificação, apenas fornecem linhas de guia para a compreensão e implementação da gestão de ativos. A publicação destes documentos reforça o referido no ponto 2.3.2, de que as ISO 5500x por si só não fornecem uma abordagem de implementação concreta e simples.

#### **I.3.1. EN 16646 – 2014**

Em 2014 foi publicada a EN 16646 – “Manutenção no âmbito da gestão de ativos físicos”, no mesmo ano que as ISO 5500x, mas após e fazendo referência a estas, que consiste em orientações e recomendações sobre a relação entre a gestão da manutenção e os restantes processos da gestão de ativos quando aplicada a ativos físicos. Não apresenta requisitos nem se destina a servir como objeto de certificação.

Nesse documento refere-se que o ponto de vista da manutenção deve ser considerado por outras áreas funcionais de uma organização, concretamente: pela função de planeamento e seleção de soluções de ativos, de modo a incluir uma perspetiva acerca do impacto das diversas soluções nos custos do ciclo de vida dos ativos; e pela função de gestão das operações em que os ativos são utilizados, de modo a otimizar o ciclo de vida dos ativos, por exemplo, introduzindo considerações acerca do período do ciclo de vida

---

<sup>6</sup> <http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/pesquisarnormas.aspx>

em que os ativos se encontram e limitações associadas ou informando sobre a sua fiabilidade.

O documento distingue também qual deve ser o papel da função de manutenção ao nível do portefólio de ativos, dos sistemas de ativos e dos ativos individualmente: ao nível do portefólio é principalmente consultivo, sendo mais ativo nos outros níveis. Ao nível dos sistemas e dos ativos individuais, o documento descreve quais os contributos de e para a manutenção em relação a outros processos da gestão de ativos, sendo estes: aquisição/conceção, operações, modernização, desativação, apoios da gestão de ativos e a gestão de ativos de um modo geral.

Em relação à estratégia da manutenção, é salientada a necessidade de aplicar o valor do alinhamento, considerado fundamental para a gestão de ativos (ISO 55000, 2014). Para tal, é primeiro necessário, a partir dos objetivos e políticas da gestão de ativos, determinar os requisitos de operação dos ativos, de modo a poder definir Indicadores de Desempenho Chave (KPI - *Key Performance Indicators*), que por sua vez orientam os objetivos e planeamento da manutenção. O documento refere alguns KPI, como o retorno dos ativos (valor extraído dos mesmos) e a Eficácia Geral do Equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*), mas direciona também para a EN 15341 (última edição é de 2019) – “Indicadores de Desempenho Chave da Manutenção”.

Em suma, este documento permite enquadrar a função da manutenção dentro da gestão de ativos, seguindo os valores definidos nas ISO 5500x e o mesmo enquadramento segundo o modelo PDCA. Tal como as ISO 5500x, este documento não apresenta diretrizes ou exemplos específicos, possui carácter genérico.

### **I.3.2. ISO-TS 55010 – 2019**

Um documento normativo mais recente é a especificação técnica ISO-TS 55010 (2019) – “Orientações sobre o alinhamento entre funções financeiras e não-financeiras na gestão de ativos”. Um documento normativo da ISO é publicado como especificação técnica quando o grau de consenso não é tão elevado como para uma norma, ou quando o tema ainda se encontra em desenvolvimento, ou quando se espera alcançar uma norma em breve (ISO/IEC, 2019). O documento proporciona linhas de guia acerca de porquê e como alinhar funções financeiras e não-financeiras, de modo a alcançar uma gestão de ativos como descrita nas ISO 5500x, mas sem adicionar interpretações às cláusulas da ISO 55001 (esse é o papel da ISO 55002). Não adiciona requisitos para certificação.

A ISO-TS 55010 (2019) define alinhamento como “arranjo, relacionamento e entendimento mútuo de interesses em comum de modo deliberado dentro de uma atividade particular ou entre atividades”. De acordo com o documento, todas as partes de uma organização necessitam de trabalhar em conjunto, necessitam de utilizar e partilhar informação de modo a proporcionar transparência e respostas aos desafios da organização e necessitam de apoiar a tomada de decisões e o controlo de desempenho da gestão de ativos. Para tal é necessário que todas as funções de uma organização estejam alinhadas e que tal seja perceptível pelas partes interessadas.

Um dos pontos assinalado no documento como vital para o alinhamento das funções financeiras e não-financeiras – e, desse modo, a gestão de ativos – é a partilha adequada de informação sobre os ativos entre essas funções. A informação pode ser gerida por um único sistema de informação, em que são definidos níveis comuns e níveis específicos para as várias funções, de acordo com as suas necessidades.

No entanto, como referido na ISO-TS 55010 (2019), é usual as organizações possuírem informação dispersa por vários sistemas de informação, desenvolvidos consoante necessidades diferentes, como por exemplo, um sistema com informação sobre a manutenção dos ativos e outro em que é efetuado o registo de informação financeira. Para atingir a gestão de ativos otimizada é necessário alinhar os vários sistemas de informação e a terminologia utilizada, de modo a evitar a duplicação, a utilização errónea e desentendimentos, para o que é necessário: definir os níveis comuns necessários, incluindo os que servem de ponto de ligação entre os diversos sistemas; implementar processos para manter a ligação entre os diversos sistemas de informação; determinar quem pode alterar informação.

O alinhamento entre as funções financeiras e não-financeiras e a ligação entre a informação financeira e não-financeira permite à organização corresponder às expectativas das partes interessadas, ao facilitar transparência quanto ao portefólio de ativos da organização do ponto de vista financeiro. Conforme refere a ISO-TS 55010 (2019), como exemplo, num mercado regulado esta transparência em combinação com informação sobre riscos financeiros e não-financeiros obtida da gestão de ativos é útil na argumentação da organização com o regulador em termos de definição de preço de venda ao cliente e de como maximizar o valor para os clientes.

De acordo com a ISO-TS 55010 (2019), um plano financeiro substanciado e alinhado com informação técnica proveniente da gestão de ativos pode ser uma forma de

demonstrar às partes interessadas, internas e externas, a sustentabilidade da organização, que a mesma possui projetos priorizados e a justificção para tal e que possui uma visão a longo prazo para dar resposta às necessidades das partes interessadas.

Finalmente, como assistência à implementação, a ISO-TS 55010 (2019) aborda as interações entre as funções financeiras e as funções não-financeiras ao longo das várias etapas do ciclo de vida dos ativos e como as mesmas se devem alinhar.

## Anexo II – Questionário para determinação dos pesos relativos dos critérios relevantes para as redes de distribuição

Objetivo: melhorar a prestação do operador da rede de distribuição;

Crítérios: segurança de pessoas e bens, continuidade e qualidade do serviço, otimização de custos e impacto social e ambiental.

Em cada questão seguinte, por favor compare a importância entre os critérios apresentados em relação ao serviço pretendido do operador da rede de distribuição.

Assinale a preferência de acordo com a escala fornecida.

1. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igual	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente									
<b>Segurança</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Continuidade e Qualidade do serviço</b>

2. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igual	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente									
<b>Segurança</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Otimização de Custos</b>

3. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igual	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente									
<b>Segurança</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Impacto Social e Ambiental</b>

4. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente		
<b>Continuidade e Qualidade do serviço</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Otimização de Custos</b>	

5. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente		
<b>Continuidade e Qualidade do serviço</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Impacto Social e Ambiental</b>	

6. Entre os seguintes critérios, qual o que julga mais importante na prestação do operador da rede de distribuição?

	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente		
<b>Otimização de Custos</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>Impacto Social e Ambiental</b>	

## Anexo III – Questionário para determinação de preferências locais em problema de concepção de linha

Objetivo: concepção de uma nova linha;

Crítérios: segurança de pessoas e bens, continuidade e qualidade do serviço, otimização de custos e impacto social e ambiental;

Alternativas: linha aérea e linha subterrânea.

Em cada questão seguinte, por favor compare a preferência entre as alternativas apresentadas em relação ao critério referido. Assinale a preferência de acordo com a escala fornecida.

1. Em relação ao critério <b>Segurança</b> , qual a alternativa preferida?																		
	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente	
Linha aérea	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Linha subterrânea

2. Em relação ao critério <b>Continuidade e Qualidade de Serviço</b> , qual a alternativa preferida?																		
	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente	
Linha aérea	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Linha subterrânea

3. Em relação ao critério <b>Otimização de custos</b> , qual a alternativa preferida?																		
	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente	
Linha aérea	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Linha subterrânea

4. Em relação ao critério **Impacto Social e Ambiental**, qual a alternativa preferida?

	Extremamente		Muito fortemente		Fortemente		Moderadamente		Igual		Moderadamente		Fortemente		Muito fortemente		Extremamente	
Linha aérea	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Linha subterrânea