



Priorização de Intervenções em Ativos da EDP Distribuição

João Pedro Trigo Montalvo Rosa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. João Carlos da Cruz Lourenço

Júri

Presidente: Prof. Carlos António Bana e Costa

Orientador: Prof. João Carlos da Cruz Lourenço

Vogal: Doutora Ana Catarina Lopes Vieira Godinho de Matos

Novembro 2017

Agradecimentos

Ao Instituto Superior Técnico assim como todas as pessoas que contribuíram para a realização deste mestrado.

Ao professor João Lourenço, orientador, por todo o apoio prestado, pelo rigor, pelo conhecimento transmitido assim como a sua disponibilidade durante a realização desta dissertação.

À EDP Distribuição, em especial ao departamento de gestão de ativos que permitiu o desenvolvimento da minha dissertação. Em particular, ao Eng.º Jorge Gomes e à Eng.ª Cristina Carvalho por todo o apoio ao longo desta investigação, pela partilha de conhecimento, pelas sugestões, incentivo assim como pelo apoio neste primeiro contacto com a vida profissional.

A todos os colaboradores do projeto JUMP da EDP Distribuição, por toda a simpatia e disponibilidade demonstrada.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela amizade e companheirismo demonstrados ao longo do mestrado, contribuindo para a minha valorização académica e pessoal.

Aos meus Pais e Irmã, um especial agradecimento, pelo apoio incondicional que sempre me demonstraram, pela dedicação e capacidade em proporcionarem-me todas as condições necessárias ao longo da minha vida.

Resumo

Nos últimos anos, o ambiente concorrencial entre as companhias transmissoras e distribuidoras de energia tem vindo a tornar-se cada vez mais competitivo provocando alterações na sociedade, como por exemplo a alteração dos modelos de tarifas aplicadas, e na economia. Torna-se cada vez mais crucial o desenvolvimento de métodos e análises que permitam às organizações uma gestão mais eficiente dos seus ativos, garantindo o seu bom funcionamento, por forma a reduzir os custos incorridos e maximizar o retorno do seu investimento. Para esta gestão mais eficiente, é crucial o desenvolvimento de um modelo analítico que permita priorizar os ativos a intervir, seguindo um determinado conjunto de critérios.

Esta dissertação desenvolve um modelo de priorização de intervenções sobre os ativos de média/baixa tensão, por parte da EDP Distribuição. Para tal, é realizada uma revisão dos métodos utilizados para a gestão de ativos em casos semelhantes, com vista a analisar os aspetos metodológicos e práticos que possam ser utilizados para a investigação do problema em estudo, assim como possíveis melhorias a esses métodos. Esta análise e revisão efetuadas, constituem um ponto de partida para identificar o desenvolvimento de metodologias para uma melhor análise dos ativos físicos.

Esta dissertação propõe uma abordagem para o desenvolvimento de um modelo de avaliação de modo a priorizar os ativos da EDP Distribuição relativamente à necessidade de intervenção, baseando-se para tal numa metodologia multicritério que permita calcular o valor global associado às potenciais intervenções a serem realizadas, partindo de julgamentos qualitativos por parte do grupo de decisores, tendo em conta os critérios definidos para o modelo em questão. Partindo dos valores globais calculados a partir do modelo multicritério, é definido um índice de prioridade de intervenção, categorizando os ativos segundo quatro níveis de urgência (Muito Urgente; Urgente; Prioridade Moderada; Prioridade Baixa). Posteriormente, tendo em conta o orçamento disponível é realizada uma priorização dos mesmos ativos a intervir, mas segundo o rácio benefício/custo. De seguida, foi realizada uma análise de portefólios de ativos a intervir, de modo a ser escolhido o portefólio que apresenta o maior benefício global para o orçamento disponível. Por último, foi realizada uma análise de robustez ao portefólio proposto ao grupo de decisores, de forma a perceber a consistência e robustez do portefólio selecionado.

Palavras Chave: Gestão de Ativos; Análise Multicritério de Decisão; MACBETH; Modelo de Priorização de Ativos; *Portfolio Robustness Evaluation* ; PROBE

Abstract

In recent times, the competitive environment among energy transmission and distribution companies has become increasingly competitive, causing changes in the society and economy. The development of methods and analysis that enable organizations to effectively manage their assets, ensuring their smooth operation, in order to reduce the costs incurred and maximize the return on their investment has become even more essential. For an efficient management, it is crucial to develop an analytical model that allows prioritizing the assets to maintain according to a certain set of criteria.

This dissertation develops an analysis of EDP Distribution's asset management approach, as well as a review of the methods used for the management of assets in similar cases, with the objective of analyzing the methodological and practical aspects that may be used for the investigation of the problem under study, as well as possible improvements for those methods. These analysis and review are a starting point to identify the methodologies for the development of better analysis of physical assets.

This dissertation proposes an approach for the development of an evaluation model in order to prioritize the assets of EDP Distribuição in need for intervention, based on a multicriteria methodology that allows to calculate the overall value associated to the interventions carried out, starting from qualitative judgments by the group of decision-makers, taking into account the criteria defined for the developed model. Starting from the global values calculated from the multicriteria model, an intervention priority index is defined, categorizing the assets according to four levels of urgency (Very urgent; Urgent; Medium Priority; Low Priority). Subsequently, taking into account the available budget, a prioritization of the same assets is carried out, but according to the benefit/cost ratio. Next, an analysis of portfolios of assets to intercede was carried out, in order to select the portfolio that presents the best benefit for the available budget. Finally, a robustness analysis was also carried out on the portfolio proposed to the group of decision makers, in order to understand the consistency and robustness of the selected portfolio.

Key-Words: Asset Management; Multicriteria Decision Analysis; MACBETH; Asset Prioritization Model; *Portfolio Robustness Evaluation*; PROBE

Índice

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviaturas	vii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização do Problema	1
1.2 Motivação	1
1.3 Âmbito e Objetivos	2
1.4 Etapas para Desenvolvimento da Dissertação	2
1.5 Organização da Dissertação	3
2 Caracterização do Problema	4
2.1 Introdução	4
2.2 O Projeto da EDP Distribuição para a Gestão de Ativos - JUMP	4
2.3 A Política de Gestão de Ativos da EDP Distribuição	6
2.4 ISO 55000	8
2.5 Os Três Principais Fatores Associados à Gestão dos Ativos da EDP Distribuição	10
2.6 Modelo Atual de Gestão do Estado dos Ativos da EDP Distribuição	10
2.7 Os Transformadores de Média/Baixa Tensão	10
2.7.1 Intervenções sobre os Transformadores MT/BT	13
2.8 Conclusões do Capítulo	27
3 Revisão da Literatura	28
3.1 Introdução	28
3.2 Sistemas de Distribuição Elétrica	28
3.3 Mapas Causais	28
3.3.1 Introdução	28
3.3.2 Estruturação do Problema	29
3.3.3 Definição de Mapas Cognitivos	29
3.4 Métodos Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)	30
3.4.1 Introdução	30
3.4.2 Métodos MCDA	32
3.4.3 MACBETH	33
3.5 Análise de Portefólios	35
3.5.1 Introdução	35
3.5.2 Abordagens para Análise de Portefólios	36
3.5.3 PROBE (Portfolio Robustness Evaluation)	37
3.6 O Caso de Priorização de Intervenções em Edifícios da Câmara Municipal de Lisboa	37
3.6.1 Agregação dos Edifícios a Intervir em Portefólios	38

3.7	O Caso de Desenvolvimento de um Modelo Multicritério adaptado a um Programa de Manutenção Preditiva	39
3.7.1	Processo de Construção do Modelo	40
3.8	Conclusões do Capítulo	42
4	Metodologia Proposta	44
4.1	Construção do Modelo	44
4.2	Agregação dos Ativos a Intervir em Portfólios	44
4.3	Modelo de Avaliação Multicritério	45
4.3.1	Introdução.....	45
4.3.2	Processo Sociotécnico	45
4.3.3	Estruturação do Problema e do Modelo	46
4.3.4	Descritores de Desempenho	48
4.3.5	Funções de Valor	49
4.3.6	Coeficientes de Ponderação	49
4.4	Análise de Portefólios	50
4.5	Conclusões do Capítulo	51
5	Metodologia Aplicada	52
5.1	Introdução	52
5.2	Grupo de Decisores	52
5.3	Estruturação do Modelo	53
5.4	Definição dos Critérios e Construção da Árvore de Valor.....	53
5.5	Descritores de Referência e Níveis de Desempenho	56
5.6	Funções de Valor	58
5.7	Coeficientes de Ponderação	60
5.8	Implementação do Modelo Multicritério	62
5.9	Atribuição de Categorias de Urgência	63
5.10	Análise de Portefólios	64
5.11	Conclusões do Capítulo	69
6	Análise dos Resultados	71
6.1	Análise de Robustez ao Portefólio Proposto.....	71
6.2	Conclusões do Capítulo	72
7	Conclusões e Trabalho Futuro	73
	Referências	74
8	Anexos.....	79
	Anexo 1 – Mapa Cognitivo	79
	Anexo 2 – Matrizes de julgamentos MACBETH para os níveis de impacto dos indicadores	80
	Anexo 3 – Escalas termométricas MACBETH para os níveis de impacto dos indicadores	82

Anexo 4 – Lista de opções para análise do modelo de avaliação multicritério MACBETH	84
Anexo 5 – Portefólios Eficientes obtidos pelo <i>software</i> PROBE	85
Anexo 6 – Análise de Robustez aos Portefólios Eficientes obtidos pelo <i>software</i> PROBE	88

Lista de Figuras

Figura 1 - Faseamento do Trabalho	2
Figura 2 - Processo de transformação na EDP Distribuição para a gestão de ativos (adaptado de EDP, 2016).....	5
Figura 3 – Benefícios esperados do projeto JUMP para os <i>stakeholders</i> (adaptado de EDP, 2016)....	6
Figura 4 - Temas Importantes da ISO 55000 (EDP, 2016)	8
Figura 5 - Rede de distribuição de energia da EDP Distribuição (EDP, 2016)	10
Figura 6 - Distribuição dos transformadores MT/BT em Portugal Continental	13
Figura 7 - Representação gráfica de: a) Análises <i>Post Mortem</i> , b) Beneficiações, c) Reabilitações,..	22
Figura 8 - Intervenções por ano de fabrico dos transformadores SIEMENS MT/BT.....	23
Figura 9 - Intervenções por ano de fabrico dos transformadores EFACEC MT/BT	24
Figura 10 - Diagrama MCDA (adaptado de Bana e Costa et al., 2005).....	31
Figura 11 - Vista geral do modelo de priorização de intervenções sobre edifícios da CML (adaptado de Bana e Costa e Oliveira, 2002).....	38
Figura 12 - Atividades desenvolvidas para a construção do modelo multicritério e respetivos resultados (adaptado de Bana e Costa et al., 2012).....	40
Figura 13 - Estrutura da Metodologia Multicritério (adaptado de Bana e Costa et al., 2011).....	47
Figura 14 - Árvore de valor correspondente ao modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD.....	53
Figura 15 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de impacto do indicador Aumentar a Qualidade do Serviço	58
Figura 16 - Função de valor do critério Aumentar a Qualidade do Serviço.....	59
Figura 17 - Matriz de julgamentos MACBETH para o critério Aumentar a Segurança para as Pessoas	59
Figura 18 - Escala de valor do critério Aumentar a Segurança para as Pessoas	60
Figura 19 - Matriz ponderação MACBETH para o modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD.....	61
Figura 20 - Histograma com os pesos dos critérios relativo ao modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD	61
Figura 21 - Tabela de performances M-MACBETH	62
Figura 22 - Árvore de Valor Multicritério (Benefícios).....	65
Figura 23 - Tabela de Pontuações parciais (QS, RE, PMO, SP, RMP, AMB) e das pontuações globais (weighted values) das potenciais Intervenções	66
Figura 24 - Tabela de Custos (Costs) e de Valor Multicritério (Benefits) das potenciais Intervenções.....	66
Figura 25 - Valor Global de Benefício de cada potencial Intervenção	67
Figura 26 - Representação da fronteira eficiente pelo software PROBE (em €).....	68
Figura 27 - Valor das pontuações das potenciais Intervenções, tendo em conta a variação definida.....	71

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Número de transformadores MT/BT, por marca	11
Tabela 2 - Situação operacional dos transformadores MT/BT, por marca	11
Tabela 3 - Situação operacional, por distrito	12
Tabela 4 - Transformadores intervencionados, por marca	13
Tabela 5 - Número de transformadores em fim de vida	14
Tabela 6 - Média de idades em análises <i>post mortem</i> , por marca	14
Tabela 7 - Média de idades em análises <i>post mortem</i> , por distrito	15
Tabela 8 - Tipos de obra relativos a análises <i>post mortem</i>	15
Tabela 9 - Comparação entre análises <i>post mortem</i>	16
Tabela 10 - Análises <i>post mortem</i> , por distrito	16
Tabela 11 - Beneficiações, por marca	16
Tabela 12 - Tipos de obra relativos a análises de beneficiação	17
Tabela 13 - Comparação entre análises de beneficiação	17
Tabela 14 - Reabilitações, por marca	17
Tabela 15 - Média de idades nas reabilitações	18
Tabela 16 - Tipos de obra relativos a análises de reabilitação	18
Tabela 17 - Comparação entre análises de reabilitação	18
Tabela 18 - Reabilitações, por distrito	18
Tabela 19 - Conservações, por marca	19
Tabela 20 - Tipos de obra relativos a análises de conservação	19
Tabela 21 - Comparação entre análises de conservação	20
Tabela 22 - Total de obras, por marca	20
Tabela 23 - Total de obras, por distrito	20
Tabela 24 - Tipos de intervenção, por distrito	22
Tabela 25 - Intervenções, por ano de fabrico	24
Tabela 26 - Número de Série dos TP's B MT/BT sujeitos a análises <i>post mortem</i> e de reabilitação	25
Tabela 27 - Número de Série dos TP's A MT/BT sujeitos a análises <i>post mortem</i> e de reabilitação	25
Tabela 28 - Comparação entre os custos totais e custos unitários, por intervenção	26
Tabela 29 - Modelos MCDA (adaptado de Figueira et al., 2005)	32
Tabela 30 - Estruturação do Modelo Multicritério (adaptado de Bana e Costa e Beinat, 2005)	34
Tabela 31 - Processo Sociotécnico, adaptado de Schein (1999)	46
Tabela 32 - Critérios de avaliação e respetivos descritores de desempenho	54
Tabela 33 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Resultados Económicos	56
Tabela 34 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Qualidade do Serviço	56
Tabela 35 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Período Médio entre Ocorrências	56
Tabela 36 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Segurança para as Pessoas	56

Tabela 37 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Repercussão nos Média e População.....	57
Tabela 38 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Ambiente	57
Tabela 39 - Ordenação dos critérios de avaliação	60
Tabela 40 - Tabela de pontuações das alternativas do modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD.....	62
Tabela 41 - Valor global de intervenções em ativos da EDPD, por ordem decrescente	63
Tabela 42 - Categorias de Urgência	64
Tabela 43 - Distribuição dos ativos por categorias de urgência	64
Tabela 44 - Custos das Intervenções de prioridade “Muito Urgente”	67
Tabela 45 - Alternativas por ordem de prioridade Benefício/Custo	67
Tabela 46 - Diferenças entre o portfólio proposto e competidor	72

Lista de Abreviaturas

EDP – Energias de Portugal

EDPD – Energias de Portugal – Distribuição

TP – Transformador de Potência

AT – Alta Tensão

BT – Baixa Tensão

MT – Média Tensão

AT/MT – Alta/Média Tensão

MT/BT – Média/Baixa Tensão

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

ORD – Operador de Rede de Distribuição

ETA – Análise de Árvores de Eventos (*Event Tree Analysis*)

FTA – Análise de Árvores de Falhas (*Fault Tree Analysis*)

POF – Probabilidade de Falha do Ativo (*Probability of failure*)

MCDA – Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (*Multiple Criteria Decision Analysis*)

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

PROBE – *Portfolio Robustness Evaluation*

MP – Manutenção Preditiva

PMP – Programa de Manutenção Preditiva

TIEPI – Tempo de interrupção equivalente da potência instalada

1 Introdução

1.1 Contextualização do Problema

O valor económico de uma empresa resulta da soma de todos os seus ativos (Kayo et al., 2006). Devido à atual competitividade existente entre as operadoras do mercado de distribuição energético, torna-se essencial garantir um bom funcionamento dos seus ativos físicos. Para esse efeito é necessário aplicar boas práticas de gestão de ativos, utilizando mecanismos que conduzam a um equilíbrio entre custos, riscos e desempenho, de modo a que a qualidade do serviço prestado por uma empresa aos seus consumidores seja tanto melhor quanto possível.

Devido à existência de um elevado número de ativos assim como de restrições financeiras que as operadoras enfrentam, é necessário alterar certas políticas e ações utilizadas anteriormente, de modo a permitir uma maior racionalização dos custos, uma vez que uma má gestão destes poderá comprometer toda a sociedade consumidora de energia, resultando por exemplo no aumento das tarifas, realizando para tal ações de melhoria contínua relativamente aos processos e operações em curso, como por exemplo a reutilização de certos materiais constituintes dos ativos.

Para a EDP Distribuição, a gestão de ativos permite uma análise detalhada e completa dos componentes integrantes da sua rede de distribuição, possibilitando o conhecimento do impacto financeiro de cada um dos ativos em análise, permitindo identificar quais a manter, reduzir ou por exemplo a substituir. Tendo em conta o risco a que estes ativos estão sujeitos, e utilizando para tal um fator de avaliação que permita priorizar os ativos a intervir, considerando os benefícios, custos e riscos, a EDPD procura obter um conjunto de ativos e investimentos o mais rentáveis que for possível. Atualmente a EDP Distribuição pretende dotar-se de um modelo que permita priorizar intervenções em ativos, mais especificamente em transformadores de média/baixa tensão, tendo em consideração diversos fatores de avaliação em simultâneo. Espera-se que o desenvolvimento de um modelo deste tipo permita um maior retorno do investimento realizado pela EDP Distribuição nos seus ativos, derivado de uma utilização mais eficiente dos seus recursos.

1.2 Motivação

O principal desafio da dissertação foi proposto pela direção da unidade de gestão de ativos da EDP Distribuição, que apontou a necessidade de analisar e melhorar a abordagem atual de gestão dos seus ativos físicos, mais concretamente os transformadores de potência de média/baixa tensão, através da criação de um modelo de priorização relativamente às intervenções sobre os mesmos.

A adoção de uma estratégia sustentável, nomeadamente através do suporte em modelos de apoio à decisão, revela-se essencial para uma consolidação da competitividade da empresa no mercado de distribuição de energia.

A oportunidade de poder desenvolver um modelo a ser aplicado sobre os ativos físicos da EDP Distribuição, assim como a possibilidade de poder contribuir para o crescimento de uma organização com especial relevância para a sociedade, constituiu também um importante fator para a escolha do tema.

1.3 Âmbito e Objetivos

O desenvolvimento desta dissertação contextualiza o tema da gestão de ativos na empresa EDP Distribuição, fornece uma revisão da literatura dos métodos considerados mais adequados para a análise do problema em estudo, assim como uma proposta de abordagem para o desenvolvimento da investigação. Esta dissertação tem como objetivos:

- Realizar uma análise relativamente aos transformadores MT/BT (média/baixa tensão), com o intuito de perceber os seus ciclos de vida.
- Priorizar os ativos analisados em termos de necessidade de manutenção, com base num modelo de avaliação a desenvolver, procurando deste modo melhorar os resultados obtidos face à abordagem atualmente existente na EDP Distribuição.
- Analisar e ajudar a selecionar o conjunto de ativos (portefólio) que devam ser alvo de intervenção, tendo em consideração o orçamento disponível na EDP Distribuição para esse efeito.

1.4 Etapas para Desenvolvimento da Dissertação

A presente dissertação foi desenvolvida de acordo com o faseamento apresentado na Figura 1 e descrito nos parágrafos subsequentes:

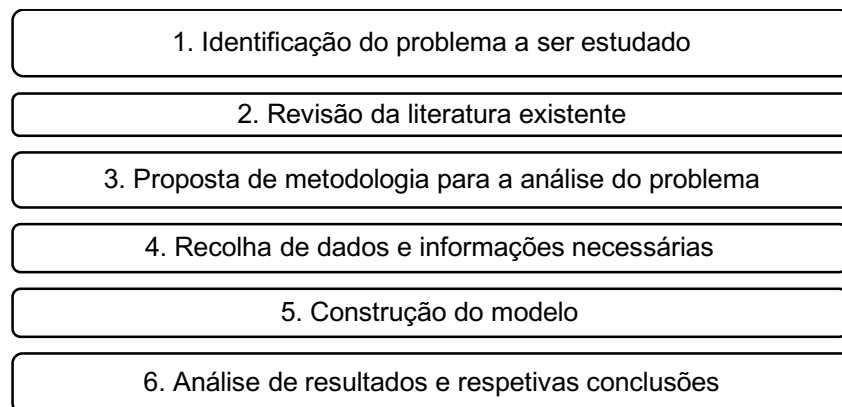


Figura 1 - Faseamento do Trabalho

As primeiras três fases foram desenvolvidas no Projeto e as restantes no âmbito da Dissertação.

A primeira fase tem como objetivo enquadrar o tema da gestão de ativos na política da EDP Distribuição, assim como identificar os objetivos, principais desafios e resultados pretendidos pela empresa.

Na fase dois, será realizada uma revisão da literatura sobre os métodos utilizados para a resolução de problemas semelhantes ao problema em estudo, de forma a obter uma base teórica que permita suportar uma metodologia de resolução do problema.

Na terceira fase, será proposta uma metodologia para lidar com o problema em estudo na EDP Distribuição. Serão definidas as diferentes etapas constituintes da metodologia, assim como a sua adequabilidade ao problema em estudo, e no final serão apresentados os resultados que se pretendem atingir.

A quarta fase engloba a recolha de dados e de informações complementares, que servirão para a formulação do modelo. Tais informações serão recolhidas junto da EDP Distribuição.

Na quinta etapa, será construído o modelo de avaliação multicritério de apoio à avaliação e consequente priorização das intervenções em ativos tendo em conta uma análise de portefólios a ser realizada. A construção do modelo seguirá uma abordagem multicritério, utilizando informações qualitativas e quantitativas, assim como juízos de valor expressos pelo decisor, que representará os pontos de vista da empresa.

Na última fase serão analisados os resultados obtidos pelo modelo e a sua adequabilidade ao problema em estudo. Serão também discutidas as limitações do modelo e possíveis melhorias futuras.

1.5 Organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. O capítulo inicial corresponde à Introdução, onde é efetuada a contextualização do problema, a motivação para o estudo do problema, a definição do âmbito e objetivos principais para a investigação assim como a respetiva organização da mesma.

No segundo capítulo é feita uma introdução relativamente à gestão de ativos. Descrevem-se os constituintes deste problema com o objetivo de fornecer todas as informações relevantes para que se possa compreender a metodologia atualmente em vigor na EDP Distribuição.

O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica. Numa primeira fase são descritos métodos usualmente utilizados no contexto da análise de decisão assim como técnicas e casos comuns para a investigação de problemas semelhantes ao problema em estudo. Os conceitos abordados neste capítulo serão utilizados na análise do problema assim como para a metodologia proposta no capítulo quatro.

O quarto capítulo propõe uma metodologia para a avaliação e priorização dos ativos em estudo, e descreve de forma sumária as etapas de desenvolvimento do modelo a criar.

O quinto capítulo descreve a aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior. Mais concretamente, é aplicada a metodologia multicritério para avaliar as intervenções a serem realizadas sobre os ativos MT/BT da EDP Distribuição, assim como uma análise de portefólios de intervenções a serem efetuadas, tendo para tal em conta o orçamento definido pela EDPD.

No sexto capítulo, é testado e validado o modelo desenvolvido de modo a verificar a sua correta aplicação aos objetivos propostos inicialmente para esta dissertação. É realizada uma análise de robustez ao portefólio de intervenções sobre os ativos MT/BT, proposto à EDP Distribuição, com o objetivo de verificar a robustez do mesmo.

Na última etapa desta dissertação, são realizadas as conclusões da presente dissertação, assim como possíveis trabalhos futuros.

2 Caracterização do Problema

2.1 Introdução

A EDP Distribuição é a empresa responsável pela distribuição de energia em Portugal Continental. Gere um elevado número de ativos, pretendendo manter um bom desempenho destes com elevada disponibilidade, mas com custos e riscos devidamente controlados. Para tal, a EDP segue uma política de gestão de ativos, alinhada com as práticas internacionais, e que está em conformidade com a norma ISO 55000. A empresa gere os seus ativos ao longo dos seus ciclos de vida, desde a identificação da necessidade, conceção, avaliação e decisão, projeto, adjudicação, construção, comissionamento, manutenção/operação e abate. Especificar corretamente os ativos que pretende adquirir é de crucial importância para que tenham uma vida útil longa, com custos de manutenção e operação devidamente justificados. Os principais ativos da EDP Distribuição têm geralmente uma duração longa, ou seja, encontram-se ao serviço da empresa por períodos muitas vezes superiores a 30 anos. Durante o seu período de vida útil (fase de manutenção/operação) terão de gerar proveitos suficientes de modo a compensarem os investimentos efetuados, pelo que para tal, é essencial controlar os custos de manutenção e operação que ocorrem durante a sua fase produtiva. Por outro lado, se os ativos não chegarem ao fim das suas vidas úteis esperadas, irão gerar prejuízos para o negócio, que poderão ser bastante significativos.

Atualmente a EDP Distribuição possui mais de 70 mil transformadores de média/baixa tensão (MT/BT). Tratam-se de ativos simples, mas com um custo significativo, e que têm um papel preponderante na atividade da empresa. Todos os anos avariam centenas de transformadores, muitos deles antes de atingirem a vida útil exetável, conduzindo a perdas significativas para a empresa. A EDP Distribuição efetua algumas análises com o intuito de reduzir a probabilidade de falha destes importantes ativos e possui ações de manutenção preditiva, no sentido de diminuir as consequências das falhas provocadas pelas avarias destes ativos, permitindo também efetuar ações de manutenção necessárias nos momentos mais adequados.

Para esse efeito a análise de falhas, a construção de modelos de avaliação da condição dos transformadores em questão assim como modelos preditivos, é algo que tem vindo a ser desenvolvido pela EDP Distribuição, sempre com o objetivo de prolongar a vida destes ativos, procurando diminuir os impactos económicos negativos e manter a qualidade de serviço.

2.2 O Projeto da EDP Distribuição para a Gestão de Ativos - JUMP

O negócio da EDP Distribuição está a atravessar um profundo processo de transformação (Figura 2) de forma a responder aos vários desafios futuros tais como:

- Novas formas de produção e distribuição de energia (renováveis, geração distribuída e *smartgrids*);
- Limitações e complexidade dos atuais sistemas;
- Evolução do papel do Operador de Rede de Distribuição – ORD (facilitador de mercado e disponibilização de novos serviços);
- Liberalização do mercado e novas exigências regulatórias.

Estes novos e exigentes desafios requerem uma profunda mudança estrutural dos processos e sistemas atuais, que irão ter impacto na forma de trabalhar de todos os seus colaboradores. Estes novos desafios passam por:

- Gestão de um grande volume de dados e novos tipos de ativos;
- Necessidade de modernização e evolução da arquitetura de sistemas e dos processos de negócio;
- Necessidade de uma visão integrada dos ativos assim como uma gestão transversal do seu ciclo de vida;
- Crescente foco na eficiência operacional e na redução de custos.

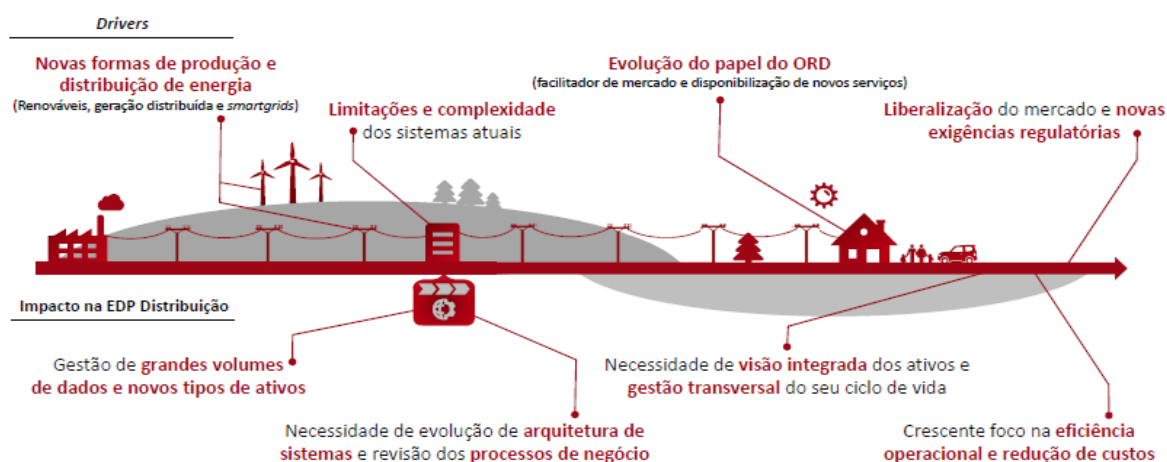


Figura 2 - Processo de transformação na EDP Distribuição para a gestão de ativos (adaptado de EDP, 2016)

O projeto *JUMP* (salto qualitativo) pretende então preparar a EDP Distribuição para esses novos desafios através do desenho e implementação de uma renovada estrutura de processos e sistemas associados à gestão de ativos e à gestão comercial, encaixando-se no processo de transformação que a EDP Distribuição pretende assumir, por forma a responder à evolução expectável do paradigma de mercado assim como os seus inúmeros desafios. O projeto *JUMP* consiste num processo de evolução no que diz respeito aos processos e desafios da EDP. Este procura o aumento da qualidade do serviço prestado enquanto empresa operadora da rede de distribuição.

O *JUMP* tem como objetivo reformular dois conjuntos de processos e aplicações relacionados com a gestão do ciclo de vida do ativo (desde a identificação da necessidade até ao abate) e com a gestão comercial (desde a entrada do cliente à gestão da dívida). Com este projeto, a EDP pretende alterar a forma de operação da sua rede de distribuição, através da implementação de novas práticas, como por exemplo a manutenção preditiva, o controlo da condição do ativo, a informação analítica, etc., utilizando ferramentas de monitorização e controlo que permitam um melhor conhecimento e operação a cerca da rede e, por conseguinte, um aumento de qualidade do serviço prestado aos seus clientes. O *JUMP* envolve mais de 45 áreas/direções distintas, 7 empresas do grupo EDP, 6 parceiros externos e mais de 3 000 pessoas envolvidas, abrangendo diversas áreas críticas da EDP Distribuição assim

como outras empresas do Grupo (Soluções Comerciais, Valor, Direção de Sistemas de Informação, etc.) garantindo uma visão integrada assim como uma maior articulação entre as mesmas.

Um dos principais objetivos do projeto *JUMP* são os benefícios que acrescenta para os diversos *stakeholders* envolvidos, como o cliente final consumidor de energia, o sistema energético nacional, os produtores, os comercializadores, as concessões assim como as próprias associações reguladoras no setor da sua área de operação, como descrito na Figura 3:

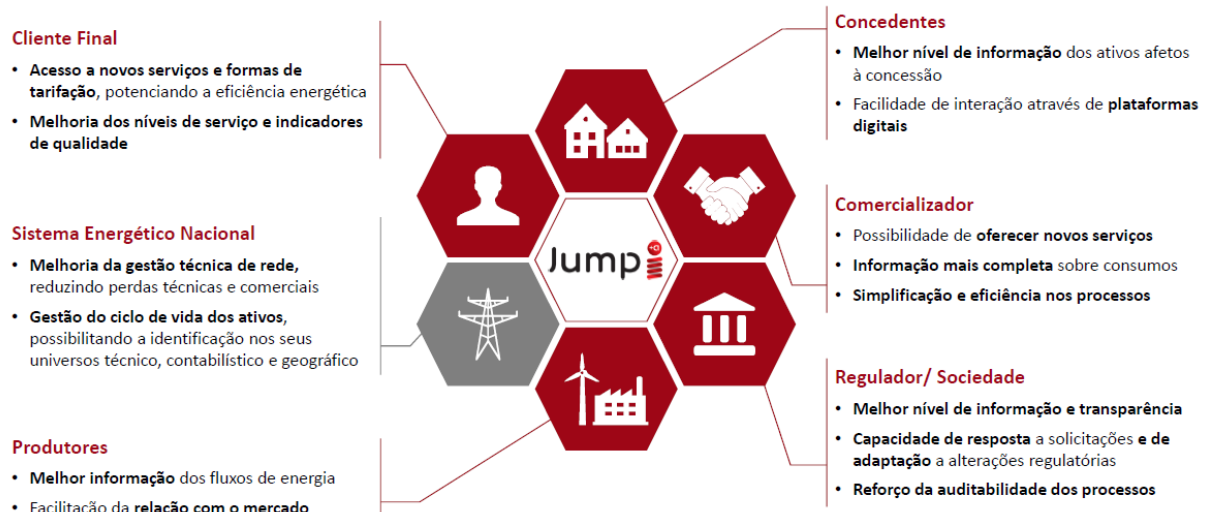


Figura 3 – Benefícios esperados do projeto JUMP para os *stakeholders* (adaptado de EDP, 2016)

2.3 A Política de Gestão de Ativos da EDP Distribuição

Enquanto operadora de redes de distribuição de energia elétrica, a EDP Distribuição procura desenvolver uma gestão responsável e inteligente dos seus ativos técnicos, numa perspetiva de ciclo de vida, para que estes produzam valor para a empresa, clientes e restantes *stakeholders*, de forma a permitir um desempenho eficiente, seguro e sustentável.

Para tal, a EDP Distribuição, em conformidade com a norma ISO 55000, pretende melhorar o seu sistema de gestão de ativos, atuando nos seguintes focos:

- **Contexto organizacional**

Estabelecimento de objetivos organizacionais de forma a traduzir as necessidades e expectativas dos seus *stakeholders*, definindo funções e responsabilidades no âmbito da gestão de ativos assim como as interações com outros sistemas de gestão da empresa. Disponibilizar aos seus colaboradores a informação e ferramentas necessárias, criar condições de acesso a formação específica e revelar a importância da contribuição e dedicação individual de todos os seus colaboradores para o alcance das metas e objetivos traçados pela empresa.

- **Gestão de risco e sustentabilidade**

Consiste na identificação, avaliação e gestão de forma proactiva, dos riscos existentes em todas as fases do ciclo de vida dos ativos técnicos, e no desenvolvimento de planos de gestão de ativos sustentáveis, tendo em conta a política de gestão de ativos e os objetivos organizacionais de forma a assegurar a otimização de custos, risco e desempenho. Passa também pela disponibilização dos recursos necessários para o alcance dos objetivos da gestão de ativos, através de um processo de

planeamento integrado, assim como a monitorização do desempenho dos ativos e do seu sistema de gestão, e ainda uma coletânea de informação relevante de forma a apoiar a tomada de decisões sobre os ativos técnicos e o seu sistema de gestão, baseando a decisão no resultado da avaliação de cenários alternativos, tendo em conta durante todo o ciclo de vida, os custos, riscos e desempenhos associados.

- **Conformidade legal e stakeholders**

Identificação de todos os requisitos legais, regulatórios, normativos e outros aplicáveis, assim como a sua incorporação no sistema de gestão de ativos de forma a assegurar o seu cumprimento. Passa pela gestão das necessidades e expectativas dos *stakeholders*, assegurando a comunicação e divulgação aos mesmos da presente política e de informação relacionada com o desempenho dos ativos, envolvendo e incentivando os prestadores de serviços a incorporar nos seus processos e metodologias conforme o sistema de gestão de ativos da EDP Distribuição.

- **Melhoria contínua**

Melhorar o processo de auditoria interna de forma a avaliar a conformidade dos processos, disponibilizando informação relevante para a melhoria contínua do sistema de gestão de ativos. Passa também pelo estabelecimento e implementação do processo a tratar e investigar não-conformidades, falhas e incidentes, associados aos ativos e ao sistema de gestão de ativos, identificando oportunidades de melhoria a avaliar, priorizar e implementar as ações preventivas e corretivas que se justifiquem, estimulando a investigação e a troca de experiências relacionadas com tecnologias e metodologias, com o intuito de promover o desenvolvimento de novas soluções, técnicas e tecnologias, assim como a incorporação de práticas de excelência na gestão de ativos.

Atributos e princípios chave da Gestão de Ativos (EDP, 2013):

- Estrutura organizacional capaz de facilitar a implementação dos princípios referidos com clareza e liderança;
- Colaboradores conscientes, competentes, dedicados e coordenados entre as diferentes funções;
- Informação e conhecimento adequado da condição dos ativos, desempenho, risco e custos assim como a relação entre os mesmos.

Objetivos da Gestão de Ativos Técnicos (EDP, 2013):

- Equilíbrio entre custos, desempenho e risco;
- Alinhar objetivos corporativos para a tomada de decisão;
- Plano para os ativos baseado num processo rigoroso e devidamente orientado.

A gestão de ativos é assim um ambicioso objetivo, que requer uma estrutura organizacional bem definida, sistemas de informação e de suporte, processos e uma cultura corporativa.

2.4 ISO 55000

As ISO 55000 representam um modelo para a gestão de ativos, assente em práticas de excelência, procurando assegurar a competitividade e sustentabilidade do negócio. Esta norma internacional lançada em 2014 pela *International Organization for Standardization* (ISO), é descrita por um conjunto de três documentos (EDP, 2016):

- ISO 55000 – Termos e definições
- ISO 55001 – Requisitos
- ISO 55002 – Orientações

Os principais temas que esta norma internacional abrange são descritos seguidamente, e também apresentados na Figura 4 (EDP, 2016):

O *standard* internacional promove uma visão geral da gestão de ativos, como a sua terminologia e princípios, fornecendo os benefícios esperados obtidos a partir da adoção deste sistema de gestão. Este tipo de *standard* pode ser aplicado a todos os tipos de ativos assim como a todos os tipos e tamanhos de organizações. Em particular, este é usado com o intuito de gerir ativos físicos, no entanto pode também ser aplicado a outro tipo de ativos. Esta norma não fornece guias de gestão financeira, contabilística ou técnica para a gestão dos ativos.

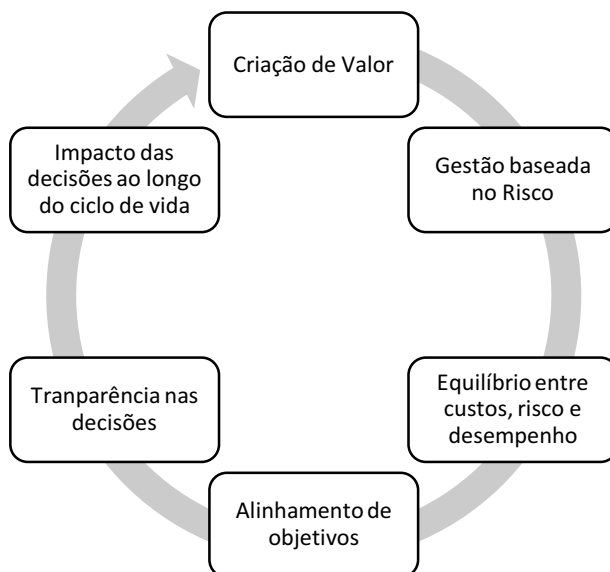


Figura 4 - Temas Importantes da ISO 55000 (EDP, 2016)

Os fatores que contribuem para a escolha sobre que ativos deve recair a necessidade de um maior nível de gestão a seguir assim como os objetivos a atingir, passam pelo seguinte:

- A natureza e o propósito da organização;
- O contexto operacional;
- Os requerimentos regulamentares assim como as restrições financeiras;
- As necessidades e expectativas da organização e dos seus stakeholders.

Estes fatores necessitam de ser tomados em conta aquando do processo de estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria continua da gestão de ativos.

Um controlo e gestão efetiva dos seus ativos, permite a uma organização obter o máximo valor tendo em consideração a gestão do risco e das oportunidades, com o intuito de obter o desejado balanço entre benefícios, custos e riscos. A legislação assim como os requisitos regulamentares existentes nos ambientes que rodeiam as organizações aumentam cada vez mais os desafios com que estas se deparam, assim como os riscos a que os ativos estão sujeitos. Os princípios da gestão de ativos assim como o sistema de suporte a essa gestão introduzido pela norma internacional referida, quando integrados numa envolvente mais ampla de gestão e controlo de risco, pode contribuir significativamente através de benefícios tangíveis e oportunidades bastante vantajosas. A gestão de ativos traduz os objetivos de uma organização em decisões relacionadas com os ativos, planos e atividades, baseando-se para tal em abordagens baseadas no risco (ISO 55000, 2014).

Alguns dos benefícios associados à Gestão de Ativos estão relacionados com (ISO 55000, 2014):

- Aumento da performance financeira: aumento do retorno sobre os investimentos efetuados e redução de custos, preservando o valor dos ativos sem sacrificar o alcance dos objetivos organizacionais a curto e longo prazo.
- Apoio às decisões de investimento relacionadas com os ativos: permite à organização melhorar o seu nível de tomada de decisão balançando eficazmente os custos, riscos, oportunidades e desempenho.
- Gestão do risco: redução de perdas financeiras e aumento da saúde e segurança, boa vontade e reputação, minimizando os impactos ambientais e sociais, podendo conduzir à redução de prémios de seguros, multas e sanções.
- Aumento do nível de serviço e dos resultados obtidos: assegurando o desempenho dos ativos é possível aumentar o nível de serviço ou produtos que, de forma consistente, vão de encontro ou excedem as expectativas dos clientes e *stakeholders*.
- Responsabilidade Social: aumentar a capacidade da organização para reduzir emissões, por exemplo, conservar recursos e adaptar-se a alterações climáticas, demonstrando responsabilidade social e práticas de negócio éticas.
- Demonstração de Conformidades: Transparência em termos legais e de requisitos regulamentares, assim como aderência aos padrões da gestão de ativos em termos de políticas e processos.
- Reputação melhorada: através do aumento de nível da satisfação dos clientes e da sensibilização e confiança entre as partes envolvidas.
- Aumento da sustentabilidade organizacional: passa por uma gestão eficaz a curto e longo prazo dos efeitos, despesas e desempenho, possibilitando aumentar a sustentabilidade das operações assim como da organização.
- Aumento da Eficiência e Eficácia: rever e melhorar os processos, procedimentos e performance dos ativos, pode aumentar a eficiência e eficácia assim como o alcance dos objetivos estabelecidos pela organização.

2.5 Os Três Principais Fatores Associados à Gestão dos Ativos da EDP Distribuição

A gestão dos ativos da EDP Distribuição, passa por um ato de equilíbrio entre os seguintes fatores:

- Desempenho – relacionado com o estado de operação do ativo, assim como a frequência das interrupções que possam ocorrer e a duração das mesmas. Este deverá ser ótimo, e não propriamente máximo.
- Custos – associados à operação/manutenção dos ativos, tais como custos de manutenção, de revisão, substituição e modificação. Os custos têm de deixar de ser intuitivos e passarem a ser justificados.
- Riscos – relativos à possível ocorrência de danos externos e obrigações. Para avaliar as consequências de cada risco, a EDP Distribuição escolheu quatro valores de negócio: a sustentabilidade, a reputação (imagem da empresa), a qualidade de serviço e os fatores económicos. O objetivo consiste no controlo dos riscos, e não propriamente em evitar os mesmos.

2.6 Modelo Atual de Gestão do Estado dos Ativos da EDP Distribuição

Atualmente, a gestão e monitorização dos ativos da EDP Distribuição é realizada de dois modos distintos: on-line, através de sistemas de informação que permitem um controlo sobre as características dos transformadores, utilizando técnicas como imagem térmica, leitura por parte de sensores, medidas de pressão, etc.; off-line baseando-se em métodos diretos como análise de amostras de óleo dos transformadores, inspeção visual realizada por técnicos, técnicas de termografia, etc. A periodicidade associada a esta monitorização, é realizada de forma regular segundo um intervalo de tempo definido para o tipo de ativo em questão, dependendo do grau de utilização e importância do mesmo, assim como a sua influência para a qualidade do serviço prestado.

2.7 Os Transformadores de Média/Baixa Tensão

Os ativos físicos a serem analisados durante a presente dissertação consistem nos transformadores média/baixa tensão (MT/BT), que são ativos fixos tangíveis de enorme importância para a atividade da empresa. Este tipo de transformadores de potência é utilizado para diminuir a tensão da corrente elétrica, de modo a que esta possa ser distribuída e entregue até aos clientes finais

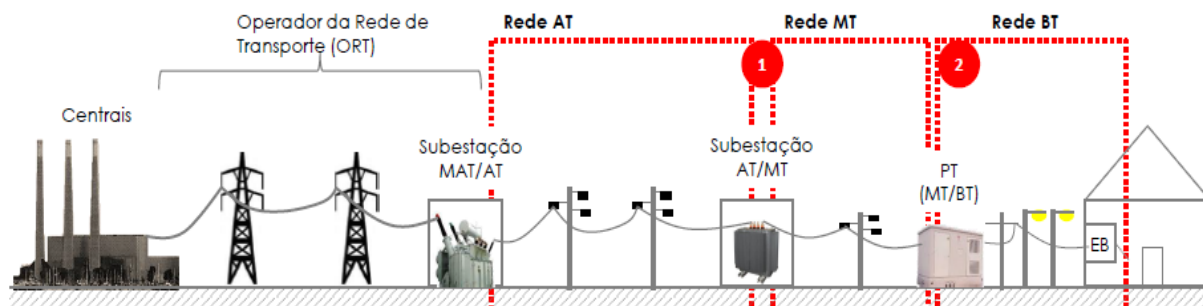


Figura 5 - Rede de distribuição de energia da EDP Distribuição (EDP, 2016)

da EDP Distribuição (ver Figura 5). Atualmente, a EDP Distribuição possui 73 428 transformadores de 27 marcas distintas.

A partir da análise da Tabela 1, é possível observar que uma grande parte do inventário de transformadores MT/BT corresponde à marca A seguida da B com cerca de 43% e 38%, respetivamente, do total de transformadores existentes. De referir que foram encontradas diversas marcas com menos de dois transformadores, as quais foram agregadas na categoria T, envolvendo marcas como AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ.

Tabela 1 - Número de transformadores MT/BT, por marca

MARCA	NÚMERO DE TRANSFORMADORES	%	MARCA	NÚMERO DE TRANSFORMADORES	%
A	31 359	42,71%	P	58	0,08%
B	28 207	38,41%	Q	47	0,06%
C	7 439	10,13%	R	27	0,04%
D	1 771	2,41%	S	20	0,03%
E	1 199	1,63%	T	16	0,02%
F	946	1,29%	U	9	0,01%
G	810	1,10%	V	7	0,01%
H	322	0,44%	W	7	0,01%
I	214	0,29%	X	7	0,01%
J	210	0,29%	Y	7	0,01%
K	207	0,28%	Z	6	0,01%
L	163	0,22%	AA	6	0,01%
M	146	0,20%	AB	4	0,01%
N	110	0,15%	AC	3	0,00%
O	99	0,13%	TOTAL	73 428	100%

Os 73 428 transformadores MT/BT existentes, encontram-se numa de quatro situações operacionais distintas: a instalar, abandonado, desligado/reserva e em exploração (ver Tabela 2). As marcas que apresentam o maior número de transformadores em exploração correspondem à A e B, que são as marcas com um maior número total de transformadores. Cerca de 81% dos transformadores MT/BT encontram-se atualmente em exploração.

Tabela 2 - Situação operacional dos transformadores MT/BT, por marca

MARCA	EM EXPLORAÇÃO	DESLIGADO/RESERVA	ABANDONADO	A INSTALAR	TOTAL
A	31 185	152	18	4	31 359
B	28 053	117	36	1	28 207
C	7 383	35	15	6	7 439
D	1 758	13			1 771
E	1 190	8		1	1 199
F	933	10	2	1	946
G	810				810
H	319	3			322
I	213	1			214
J	209	1			210
K	198	9			207
L	163				163

(continua)

Tabela 2 - Situação operacional dos transformadores MT/BT, por marca (continuação)

MARCA	EM EXPLORAÇÃO	DESLIGADO/RESERVA	ABANDONADO	A INSTALAR	TOTAL
M	146				146
N	110				110
O	98				98
P	58				58
Q	46	1			47
R	27				27
S	20				20
T	19				19
U	9				9
V	7				7
W	7				7
X	7				7
Z	6				6
Y	6	1			7
AA	6				6
AB	4				4
AC	3				3
TOTAL	72 993	351	71	13	73 428

Analisando agora a distribuição dos 73 428 transformadores MT/BT pelos 18 distritos de Portugal Continental apresentada na Tabela 3, é possível observar que existe uma maior quantidade de transformadores em exploração nos distritos de Lisboa e Porto com 10 648 e 10 469 unidades respetivamente, correspondendo a uma percentagem do número total de transformadores em exploração, de cerca de 15% e 14% respetivamente.

Tabela 3 - Situação operacional, por distrito

DISTRITOS	EM EXPLORAÇÃO	DESLIGADO/RESERVA	ABANDONADO	A INSTALAR	Total
Lisboa	10 648	15	24	2	10 689
Porto	10 469	7	2	2	10 480
Leiria	5 661	19	7	6	5 693
Braga	5 320	6	3		5 329
Faro	4 818	63	3		4 884
Setúbal	3 889	17	7		3 913
Aveiro	3 670	33			3 703
Santarém	3 403	11	2		3 416
Guarda	3 320	9			3 329
Viseu	3 130	7			3 137
Castelo Branco	2 928	12		1	2 941
Portalegre	2 698	18	4	2	2 722
Beja	2 584	39	1		2 624
Coimbra	2 581	11	3		2 595
Évora	2 454	41	1		2 496
Viana do Castelo	2 003	15	4		2 022
Vila Real	1 853	22	1		1 876
Bragança	1 549	6	5		1 560
Desconhecido	15		4		19
TOTAL	72 993	351	71	13	73 428

A Figura 6 apresenta a distribuição dos transformadores em exploração, por distrito.

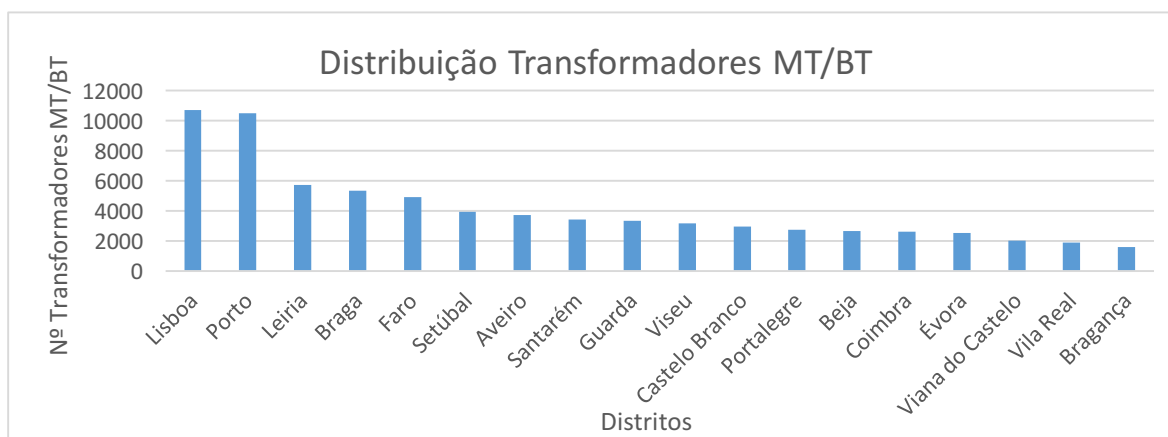


Figura 6 - Distribuição dos transformadores MT/BT em Portugal Continental

2.7.1 Intervenções sobre os Transformadores MT/BT

Dos cerca de 70 mil transformadores MT/BT existentes, cerca de 1 100 foram intervencionados, com um custo total de cerca de 1 600 000 €. As intervenções realizadas foram de quatro tipos:

- Análise post mortem: este tipo de análise consiste numa verificação realizada aos transformadores que atingiram o seu fim de vida, com o intuito de perceber quais os motivos que levaram à sua falha.
- Beneficiação: intervenção realizada com o objetivo de melhorar determinadas características do ativo.
- Reabilitação: ações que visam a recuperação da condição do ativo, incorporando o aumento de vida útil e/ou aumento da sua capacidade produtiva.
- Conservação: intervenção mais ligeira, utilizada quando o transformador se encontra em boas condições internas de funcionamento.

Após uma primeira análise aos transformadores intervencionados, descrita na Tabela 4, é possível observar que a maior quantidade corresponde à marca B com 482 unidades, aproximadamente 44% do total, seguida da A com 444 unidades, aproximadamente 41% do total. Tal pode ser justificado devido à existência de uma quantidade significativa de transformadores destas duas marcas relativamente às restantes, no conjunto total existente. As duas marcas correspondem a cerca de 81% do número total de transformadores existentes.

Tabela 4 - Transformadores intervencionados, por marca

MARCA	Nº TRANSFORMADORES	%
B	487	44,6%
A	444	40,7%
F	42	3,8%
H	37	3,4%
E	35	3,2%
D	15	1,4%
U	11	1,0%
M	5	0,5%
G	5	0,5%
O	4	0,4%

(continua)

Tabela 4 - Transformadores intervencionados, por marca (continuação)

MARCA	Nº TRANSFORMADORES	%
B	2	0,2%
I	1	0,1%
P	1	0,1%
L	1	0,1%
T	1	0,1%
TOTAL	1 091	100%

2.7.1.1 Análises *Post Mortem*

Considerando apenas a análise *post mortem*, apresentada na Tabela 5, é possível concluir que esta foi a intervenção necessária sobre 71 transformadores. Destes, cerca de 55% correspondem a transformadores da marca A e 35% a transformadores B. Mais uma vez, e tal como era esperado, denota-se uma prevalência destas duas marcas relativamente às restantes.

Tabela 5 - Número de transformadores em fim de vida

MARCA	NÚMERO DE UNIDADES	%
A	39	55%
B	25	35%
E	3	4%
F	2	3%
H	2	3%
TOTAL	71	100%

O tempo de vida contabilístico dos transformadores é de 25 anos para os transformadores MT/BT. Do mesmo conjunto de transformadores cuja intervenção consistiu numa análise *post mortem*, a partir da Tabela 6 é possível concluir que os que apresentam uma idade média superior em relação aos restantes correspondem à marca B e A, com idade média compreendida ente os 11 e os 15 anos. Os transformadores E e H foram os que apresentaram uma idade inferior, no momento da análise. De referir que a idade média deste conjunto de transformadores é 12 anos, cerca de metade da sua vida útil expectável.

Tabela 6 - Média de idades em análises *post mortem*, por marca

MARCA	MÉDIA DE IDADES
B	15
A	11
F	10
E	8
H	3
MÉDIA	12

Relativamente à localização do conjunto de transformadores intervencionados com análises *post mortem*, Faro e Porto são os distritos cujos transformadores apresentaram uma idade média superior aos restantes aquando da análise efetuada, 15 anos, ao contrário de Castelo Branco, apenas 2 anos (ver Tabela 7).

Tabela 7 - Média de idades em análises *post mortem*, por distrito

DISTRITOS	MÉDIA DE IDADES
Faro	15
Porto	15
Coimbra	14
Aveiro	13
Beja	13
Lisboa	13
Évora	12
Braga	11
Guarda	11
Vila Real	10
Santarém	9
Setúbal	9
Portalegre	8
Leiria	8
Viana do Castelo	7
Castelo Branco	2
MÉDIA	12

Quanto aos motivos que levaram a uma análise *post mortem* como intervenção sobre os ativos, estes podem ser devido a avaria, investimento, manutenção ou rotação do transformador. Dos 71 transformadores, 53% deveu-se a avaria, 39% a obras de investimento realizadas que por consequência provocaram a necessidade de substituição do ativo e os restantes a manutenção. Mais de metade das avarias e investimentos verificados correspondem à marca A (ver Tabela 8). De salientar o facto de 39% dos ativos em fim de vida se deverem a obras de investimento realizadas, levando à sua falha inesperada.

Tabela 8 - Tipos de obra relativos a análises *post mortem*

MARCA	AVARIA	INVESTIMENTO	MANUTENÇÃO	TOTAL TP's
A	22	15	2	39
B	12	11	2	25
E	3			3
F	1		1	2
H		2		2
TOTAL	38	28	5	71

De todas as intervenções, esta foi a que ocorreu com menor frequência, apenas 7% do total. Apesar de existir uma maior quantidade de ativos da B, relativamente à amostra dos 1 100 transformadores, o maior número de análises *post mortem* pertence à A, com cerca de 55%, comparativamente com os 35% da B (ver Tabela 9). O tipo de obra mais frequentemente relacionado com estas análises corresponde a avarias, ocorrendo uma maior incidência deste tipo de análise nos distritos de Faro e Évora. Apesar de Évora ser dos distritos com menor número de transformadores, este é o quarto distrito com maior número de ativos intervencionados, e o segundo em termos de análises *post mortem*. Faro apresenta o maior número de análises *post mortem* comparativamente com os restantes distritos, contudo é neste distrito que os transformadores MT/BT apresentam uma idade média superior no momento da análise. Os custos relacionados com as 71 análises acenderam a cerca de 3 200€, contudo deverão ser bastante superiores, se somado o valor correspondente à possibilidade de necessidade de substituição dos transformadores em fim de vida, por novos. Em termos de intervenção, esta é a que apresenta menores custos.

Tabela 9 - Comparação entre análises *post mortem*

MARCA	ANÁLISE POST MORTEM	AMOSTRA 1 100 TP'S	ANO DE FABRICO MAIS COMUM
A	39 (55%)	444 (41%)	2000 a 2004
B	25 (35%)	487 (45%)	2001 a 2003

Em 9 dos 15 distritos em que foram realizadas análises *post mortem* aos ativos, ocorreu uma predominância de transformadores da A face à B (ver Tabela 10), apesar do número superior da B no conjunto geral de ativos intervencionados. Faro tem menos de metade dos transformadores de Lisboa e Porto, mas o dobro de análises *post mortem*.

Tabela 10 - Análises *post mortem*, por distrito

DISTRITOS	A	B	E	H	F	TOTAL
Faro	6	5			1	12
Évora	3	4		1	1	9
Coimbra	7	1				8
Aveiro	4	2	1			7
Beja	2	5				7
Lisboa	3	3				6
Leiria	5			1		6
Braga	3					3
Portalegre		2	1			3
Porto	2	1				3
Setúbal	1	2				3
Castelo Branco	1					1
Santarém	1					1
Viana do Castelo	1					1
Vila Real			1			1
TOTAL	39	25	3	2	2	71

2.7.1.2 Análises de Beneficiação

Analisando a Tabela 11, o total de beneficiações realizadas foi de 782. A marca mais abundante é a B seguida da A, representando cerca de 45% e 43%, respetivamente, do total de beneficiações efetuadas.

Tabela 11 – Beneficiações, por marca

MARCA	BENEFICIAÇÃO	%
B	353	45,1%
A	334	42,7%
F	33	4,2%
H	14	1,8%
E	14	1,8%
D	12	1,5%
M	5	0,6%
G	5	0,6%
U	5	0,6%
O	3	0,4%
Z	2	0,3%
P	1	0,1%
T	1	0,1%
TOTAL	782	100%

Dos 782 transformadores MT/BT intervencionados segundo uma análise de beneficiação, 80% deveu-se à realização de obras de investimento, 15% devido à ocorrência de avarias, 4% a uma necessidade de manutenção e os restantes a uma rotação do transformador (ver Tabela 12). Mais uma vez a A é a marca mais representativa nas avarias e também nas rotações, e a B nos investimentos e manutenção.

Tabela 12 - Tipos de obra relativos a análises de beneficiação

MARCA	INVESTIMENTO	AVARIA	MANUTENÇÃO	ROTAÇÃO TP MT/MT	TOTAL TP's
B	287	50	15	1	353
A	269	52	10	3	334
F	29	4			33
E	8	5	1		14
H	10	4			14
D	7	3	2		12
U	4	1			5
M	4		1		5
G	5				5
O	3				3
Z	2				2
P	1				1
T			1		1
TOTAL	629	119	30	4	782

A beneficiação foi a intervenção mais frequente sobre os ativos intervencionados, 782 análises, correspondendo a cerca de 72% do total. A quantidade de beneficiações realizadas para os ativos de ambas as marcas mais representativas do conjunto de 1 100 transformadores analisados, está de acordo com a quantidade de cada uma, isto é, maior quantidade de ativos da B e conseqüente maior quantidade de beneficiações para os mesmos (ver Tabela 13). O tipo de obra relativo às beneficiações realizadas, deve-se principalmente a necessidades de investimento. Foi realizada uma maior quantidade de beneficiações nos distritos de Leiria, Lisboa e Beja. Relativamente aos custos associados, esta é a intervenção mais dispendiosa em termos absolutos, sendo os custos totais associados de cerca de 895 500€ para os 782 transformadores intervencionados.

Tabela 13 - Comparação entre análises de beneficiação

MARCA	BENEFICIAÇÃO	AMOSTRA 1 100 TP'S	ANO DE FABRICO MAIS COMUM
B	353 (45%)	487 (45%)	2003 a 2004
A	334 (43%)	444 (41%)	2004

2.7.1.3 Análises de Reabilitação

Mais uma vez, a B e a A são as marcas que se apresentam em maior número no conjunto de transformadores reabilitados, como demonstrado na Tabela 14, com uma percentagem de 62% e 29%, respetivamente, do total de reabilitações realizadas aos ativos intervencionados.

Tabela 14 - Reabilitações, por marca

MARCA	REABILITAÇÃO	%
B	99	61,5%
A	47	29,2%
E	6	3,7%
H	4	2,5%
F	3	1,9%
U	1	0,6%
D	1	0,6%
TOTAL	161	100%

Analisando as idades que os transformadores apresentam no momento da análise de reabilitação, por marca, representado na Tabela 15, é possível observar que a B e a A são as marcas que apresentam uma idade superior às restantes, com 14 e 12 anos respetivamente.

Tabela 15 - Média de idades nas reabilitações

MARCA	MÉDIA DE IDADES
B	14
A	12
D	11
F	8
E	4
U	3
H	2
MÉDIA	13

Do conjunto total das 161 reabilitações efetuadas, 80% deveram-se a avarias, 17% a obras de investimento e os restantes a manutenção (ver Tabela 16). A B é a marca mais comum nos três tipos de obras distintos, sempre em maioria relativamente a todas as restantes marcas juntas.

Tabela 16 - Tipos de obra relativos a análises de reabilitação

MARCA	AVARIA	INVESTIMENTO	MANUTENÇÃO	TOTAL
B	79	17	3	99
A	37	9	1	47
E	6			6
H	4			4
F	2	1		3
U	1			1
D			1	1
TOTAL	129	27	5	161

Esta é a segunda intervenção realizada com maior frequência, sobre os ativos analisados, cerca de 15% do total. Neste caso, a uma maior quantidade de ativos da B corresponde, também, uma maior quantidade de reabilitações efetuadas (ver Tabela 17). O tipo de obra mais frequente que conduz a este tipo de análise, consiste em avarias nos ativos. As reabilitações são mais comuns nos distritos de Faro e Lisboa. Os custos associados a este tipo de intervenção ascenderam a cerca de 664 500€, sendo esta a segunda intervenção que acarreta maiores custos absolutos.

Tabela 17 - Comparação entre análises de reabilitação

MARCA	REABILITAÇÃO	AMOSTRA 1 100 TP'S	ANO DE FABRICO MAIS COMUM
B	99 (62%)	487 (45%)	2002
A	47 (29%)	444 (41%)	2004

Mais uma vez o distrito de Faro apresenta um maior número de intervenções relativamente aos restantes, como é descrito na Tabela 18. Pelo contrário, Braga que se tinha verificado ser um dos distritos com maior número de transformadores em exploração, é o distrito que apresenta um menor número de reabilitações na amostra dos 1 100. Faro apresenta um maior número de reabilitações, apesar de deter menos de metade dos transformadores de Lisboa e Porto.

Tabela 18 - Reabilitações, por distrito

DISTRITO	B	A	E	H	F	D	U	TOTAL
Faro	18	6		1				25
Lisboa	12	8		2	1		1	24
Setúbal	9	6	1					16
Leiria	12	3	1					16
Porto	7	4						11
Évora	7	2	1					10

(continua)

DISTRITO	B	A	E	H	F	D	U	TOTAL
Beja	5	3	1					9
Santarém	4	3			1	1		9
Aveiro	4	2	1					7
Castelo Branco	4	2		1				7
Coimbra	3	4						7
Guarda	3	1	1					5
Viseu	5							5
Portalegre	3				1			4
Vila Real	3							3
Viana do Castelo		2						2
Braga		1						1
TOTAL	99	47	6	4	3	1	1	161

2.7.1.4 Análises de Conservação

Considerando as análises de conservação, esta foi a intervenção levada a cabo sobre 77 dos ativos analisados, como representado na Tabela 19. A marca mais representativa do conjunto analisado é a A seguida da H, ambas com cerca de 31% e 22% do conjunto total de 77 transformadores.

Tabela 19 - Conservações, por marca

MARCA	CONSERVAÇÃO	%
A	24	31%
H	17	22%
E	12	16%
B	10	13%
F	4	6%
U	5	5%
D	2	3%
O	1	1%
I	1	1%
L	1	1%
TOTAL	77	100%

No caso das análises de conservação, a larga maioria deveu-se à realização de investimento, cerca de 96%. Observando a Tabela 20, a análise de conservação está associada a apenas uma avaria e duas necessidades de manutenção. A marca A é a marca mais representativa em termos de investimentos, cerca de 30%, seguida da H.

Tabela 20 - Tipos de obra relativos a análises de conservação

MARCA	INVESTIMENTO	MANUTENÇÃO	AVARIA	TOTAL
A	22	2		24
H	17			17
E	12			12
B	10			10
U	5			5
F	3		1	4
D	2			2
O	1			1
L	1			1
I	1			1
TOTAL	74	2	1	77

Este tipo de intervenção corresponde à terceira realizada com maior frequência, sobre os ativos analisados, cerca de 7% do total. Neste caso, apesar da A ser a segunda marca mais comum nos 100 transformadores intervencionados, esta apresenta uma maior quantidade de conservações (ver

Tabela 21). Curiosamente, a H que apresenta apenas 37 transformadores no conjunto dos 1100, é a segunda marca com maior número de conservações, cerca de 22% das realizadas no total. As conservações são mais comuns nos distritos de Lisboa e Leiria. Os custos associados a este tipo de intervenção ascenderam a cerca de 30 000€, sendo esta a terceira intervenção que acarreta maiores custos totais absolutos.

Tabela 21 - Comparação entre análises de conservação

MARCA	CONSERVAÇÃO	AMOSTRA 1 100 TP'S	ANO DE FABRICO MAIS COMUM
A	24 (31%)	444 (41%)	2004 e 2010
H	17 (22%)	37 (3%)	2012

2.7.1.5 Análise por Tipo de Obra

Relativamente ao número total de obras, apresentado na Tabela 22, a grande maioria consistiu em obras de investimento, cerca de 70% das 1 091 realizadas, seguidas de avarias (26%). Para os três principais tipos de obras distintos, a B apresenta-se sempre em maioria relativamente às restantes marcas.

Tabela 22 - Total de obras, por marca

MARCA	INVESTIMENTO	AVARIA	MANUTENÇÃO	ROTAÇÃO TP MT/MT	TOTAL	% TOTAL
B	325	141	20	1	487	44,6%
A	315	111	15	3	444	40,7%
F	33	8	1		42	3,8%
H	29	8			37	3,4%
E	20	14	1		35	3,2%
D	9	3	3		15	1,4%
U	9	2			11	1,0%
M	4		1		5	0,5%
G	5				5	0,5%
O	4				4	0,4%
Q	2				2	0,2%
L	1				1	0,1%
T			1		1	0,1%
I	1				1	0,1%
P	1				1	0,1%
TOTAL	758	287	42	4	1 091	100%

Analisando o tipo de obras realizadas relativamente aos 18 distritos existentes, é possível verificar que ocorreu um maior número de investimentos no distrito de Leiria e Beja, um número superior de avarias em Lisboa e Faro e maior número de manutenções em Santarém, Faro e Leiria (ver Tabela 23). Apesar de Évora ser o distrito com maior número de análises post mortem, este distrito apresenta uma quantidade significativamente superior de obras por investimento relativamente a avarias.

Tabela 23 - Total de obras, por distrito

MARCA	Investimento	Avaria	Manutenção	Rotação TP MT/MT	TOTAL	% Total TP's instalados
Leiria	156	38	6		200	8%
Lisboa	126	43	3	2	174	15%
Beja	140	22	2		164	4%
Évora	111	8	2		121	3%
Faro	24	42	6	1	73	7%

(continua)

Tabela 23 - Total de obras, por distrito (continuação)

MARCA	Investimento	Avaria	Manutenção	Rotação TP MT/MT	TOTAL	% Total TP's instalados
Santarém	43	12	8		63	5%
Coimbra	37	12	3		52	4%
Setúbal	16	26	4		46	5%
Portalegre	22	4	3		29	4%
Aveiro	11	15	2		28	5%
Porto	10	15	2	1	28	14%
Castelo Branco	17	10			27	4%
Guarda	15	4	1		20	5%
Viseu	8	12			20	4%
Vila Real	4	11			15	3%
Viana do Castelo	10	4			14	3%
Braga	5	7			12	7%
Bragança	2	1			3	2%
N/A	1	1			2	
TOTAL	758	287	42	4	1091	

2.7.1.6 Análises por Localização

Analisando agora os quatro tipos de intervenção por distrito, descritos na Tabela 24, é possível tirar algumas conclusões:

- O distrito com maior número de ativos intervencionados é Leiria, apesar de ser apenas o terceiro distrito com maior número de transformadores em exploração, com cerca de metade dos transformadores de Lisboa e Porto.
- O distrito do Porto é o segundo distrito com maior número de transformadores em exploração, 10 469, contudo é dos distritos com menor número de ativos intervencionados, apenas 28 no conjunto dos 1 100 analisados. Caso semelhante para o distrito de Braga.
- Os distritos com maior número de análises *post mortem*, associada ao fim de vida dos transformadores, correspondem a Faro seguido de Évora. Apesar de Évora ser dos distritos com menor número de transformadores, este é o segundo distrito que apresenta um maior número de análises *post mortem*, e o quarto distrito com maior número de ativos intervencionados;
- Os distritos com maior número de intervenções de beneficiação são Leiria seguido de Beja.
- No que toca à reabilitação os distritos com um número superior aos restantes são Faro seguido de Lisboa. Faro é assim o distrito com maior número de intervenções *post mortem* assim como reabilitações, apesar de ser apenas o quinto distrito com um maior número de ativos intervencionados.
- Em termos de análises de conservação, esta é mais incidente no distrito de Lisboa seguido de Leiria, correspondendo este tipo de intervenção a cerca de 7% do total de intervenções realizadas.
- Os distritos com o maior número de ativos intervencionados foram Leiria e Lisboa, ao passo que os distritos com um menor número foram Braga e Bragança. De realçar que apesar de Braga ser um dos distritos com menor número de ativos intervencionados, este é o quarto distrito com maior número de transformadores no país.

- É também possível verificar que grande parte das intervenções realizadas correspondem a beneficiações, cerca de 72% e, pelo contrário, em menor número são as análises *post mortem*, cerca de 7%.

Tabela 24 - Tipos de intervenção, por distrito

DISTRITOS	BENEFICIAÇÃO	REABILITAÇÃO	CONSERVAÇÃO	ANÁLISE POST MORTEM	TOTAL
Leiria	164	16	14	6	200
Lisboa	121	24	23	6	174
Beja	138	9	10	7	164
Évora	90	10	12	9	121
Faro	34	25	3	12	74
Santarém	48	9	5	1	63
Coimbra	34	7	3	8	52
Setúbal	25	16	2	3	46
Portalegre	20	4	2	3	29
Aveiro	14	6		7	27
Porto	14	11		3	28
Castelo Branco	17	7	2	1	27
Guarda	14	5	1	1	21
Viseu	15	5			20
Vila Real	11	3		1	15
Viana do Castelo	11	3		1	15
Braga	8	1		3	12
Bragança	3				3
TOTAL	782	161	77	71	1 091

Analisando a Figura 7, são mais facilmente perceptíveis as distribuições por intervenção. Relativamente às análises *post mortem*, estas são mais comuns sobre os ativos localizados nos distritos do litoral do país assim como da zona sul e interior alentejano. Quanto às beneficiações, estas são mais comuns para transformadores na zona de Lisboa, Leiria e no Alentejo. Relativamente às análises de reabilitação, estas já se apresentam mais dispersas pelos distritos portugueses, com maior densidade em alguns distritos do litoral e sul do país, como Porto, Leiria, Lisboa, Setúbal, Évora e Faro. As conservações são mais comuns na zona centro e sul.

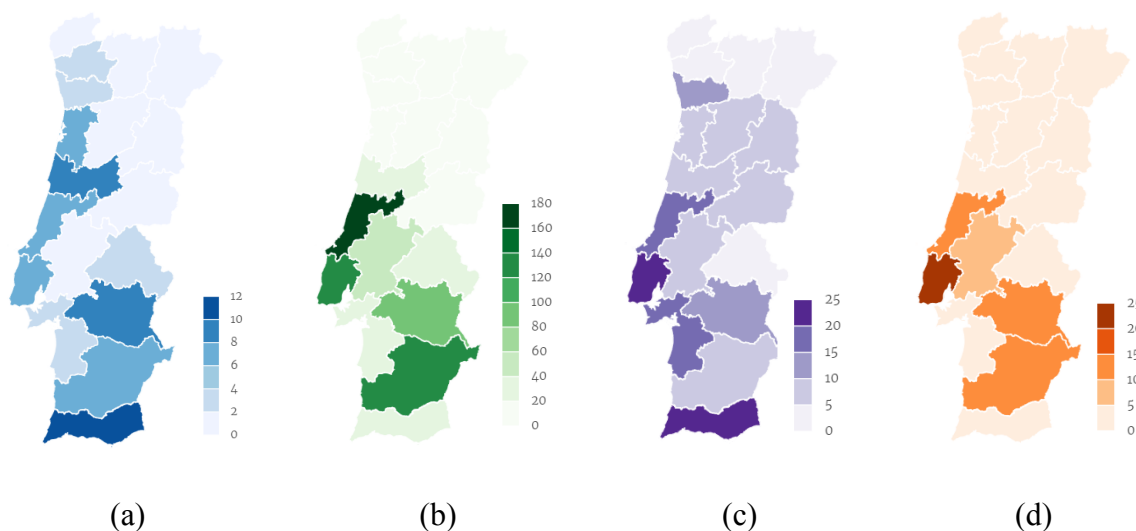


Figura 7 - Representação gráfica de: a) Análises *Post Mortem*, b) Beneficiações, c) Reabilitações, d) Conservações

2.7.1.7 Análise por Ano de Fabrico dos Transformadores MT/BT

A partir da análise da Figura 8 e Figura 9 e da Tabela 25 é possível tirar algumas conclusões relativamente ao ano de fabrico dos transformadores para cada uma das intervenções realizadas sobre as duas marcas mais representativas do conjunto total existente:

- 2004 é o ano de fabrico mais comum no conjunto de transformadores A, cerca de 12% do total. Relativamente aos transformadores da B, o ano de fabrico mais comum é 2003, cerca de 11%.
- A maior percentagem de transformadores da SIEMENS, beneficiados, corresponde ao ano de fabrico de 2003. Quanto à A, o ano mais comum é 2004.
- Quanto às reabilitações, estas são mais comuns para transformadores B cujo ano de fabrico é 2002, e relativamente aos transformadores A o ano mais comum é 2004.
- Observando as análises *post mortem*, os transformadores B de ano de fabrico 2001 e 2003 e os ativos da A dos anos 2000 e 2002, são os que apresentam uma maior percentagem da análise referida.
- O ano de fabrico de 2004, é assim o ano de fabrico cujos transformadores apresentaram uma maior quantidade de beneficiações, reabilitações e conservações, para a marca A, devido à maior quantidade existente.
- 2003 foi o ano de maior quantidade de transformadores B beneficiados e intervencionados com uma análise *post mortem*, o que também está de acordo com o esperado.
- Para ambas as marcas, o intervalo entre os anos de fabrico de 2000 e 2004, consistiu na percentagem mais representativa de intervenções realizadas sobre os transformadores.

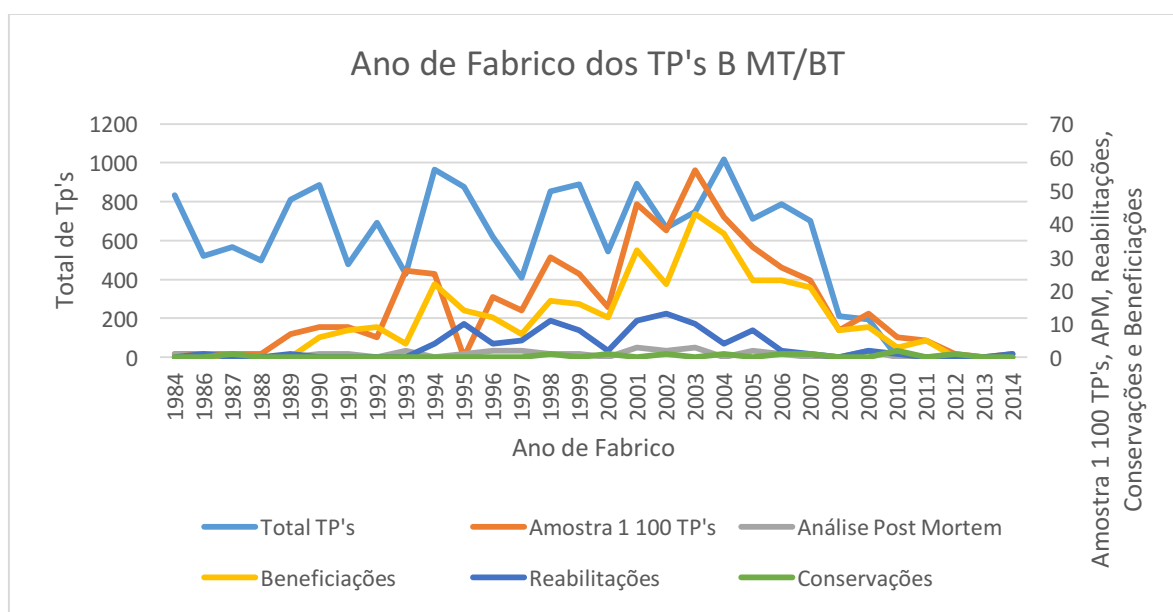


Figura 8 - Intervenções por ano de fabrico dos transformadores B MT/BT

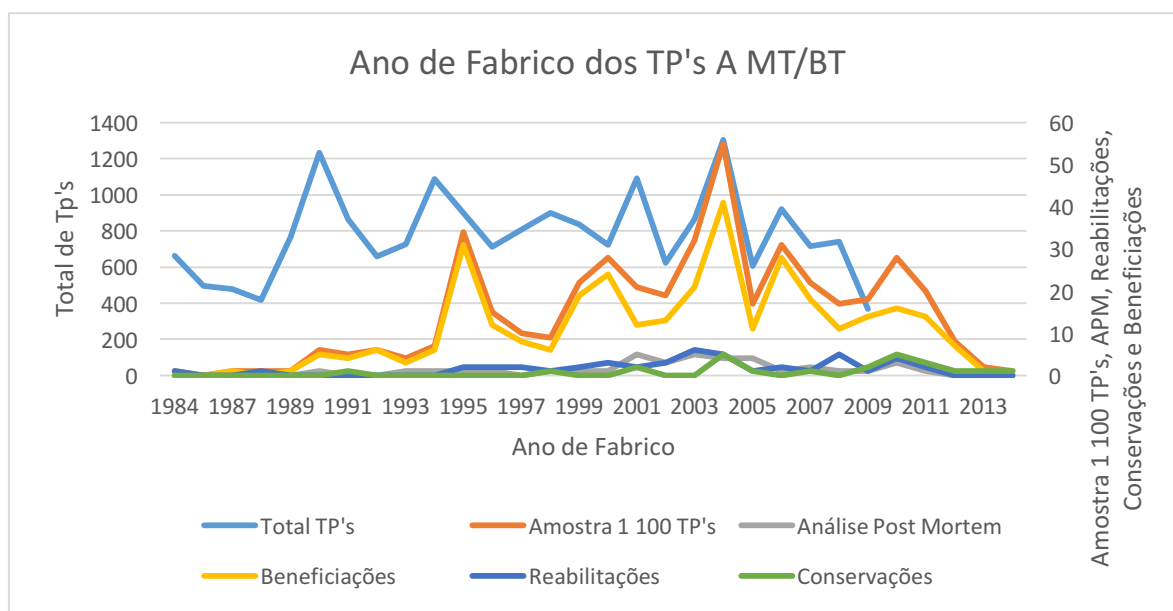


Figura 9 - Intervenções por ano de fabrico dos transformadores A MT/BT

Os pontos que chamam mais à atenção são o facto de terem sido efetuadas uma maior quantidade de análises *post mortem* para ativos cujo ano de fabrico é 2001 relativamente à B (9% do conjunto total), 2000 e 2002 (6% e 4%, respetivamente, do total) para a A.

Tabela 25 - Intervenções, por ano de fabrico

	A	B
Amostra 1 100 TP's	444 (41%)	487 (45%)
	Ano mais comum: 2004	Ano mais comum: 2003
Análise <i>post mortem</i>	39 (55%)	25 (35%)
	Ano mais comum: 2000 e 2002	Ano mais comum: 2001 e 2003
Reabilitação	47 (29%)	99 (62%)
	Ano mais comum: 2004	Ano mais comum: 2002
Beneficiação	334 (43%)	353 (45%)
	Ano mais comum: 2004	Ano mais comum: 2003
Conservação	24 (31%)	2 (20%)
	Ano mais comum: 2004	Ano mais comum: 2010

2.7.1.8 Análise por Números de Série

Posteriormente, foram analisados os transformadores MT/BT relativamente aos seus números de série, para os quais a intervenção realizada consistiu numa análise *post mortem* ou de reabilitação, para ambas as marcas mais representativas no conjunto total. Na Tabela 26, é realizada a análise descrita para os transformadores da B. Os números de série a vermelho significam que os respetivos transformadores foram intervencionados segundo uma análise *post mortem*. Os restantes referem-se a reabilitações realizadas. Analisando os dados, não é perceptível nenhum padrão ou consistência significativa relativamente aos números de série indicados.

Tabela 26 - Número de Série dos TP's B MT/BT sujeitos a análises *post mortem* e de reabilitação

Nº Série B							
LEL24003	LEL56967	LEL63571	LEL72110	LEL85089	LEL89971	LEL92933	LEL108820
LEL27549	LEL57373	LEL64035	LEL73404	LEL85959	LEL89974	LEL93291	LEL100304
LEL35187	LEL57382	LEL64132	LEL73433	LEL85981	LEL89992	LEL93353	LEL100362
LEL36384	LEL57384	LEL65067	LEL73745	LEL86417	LEL90265	LEL93359	LEL100546
LEL36884	LEL57439	LEL65070	LEL75411	LEL86459	LEL91081	LEL93893	LEL101186
LEL42246	LEL57444	LEL65656	LEL75518	LEL87126	LEL91110	LEL94178	LEL101225
LEL48968	LEL58513	LEL66851	LEL75524	LEL87673	LEL91243	LEL94187	LEL102261
LEL48986	LEL58810	LEL68425	LEL76306	LEL87749	LEL91284	LEL95081	LEL102615
LEL49862	LEL59325	LEL68870	LEL77163	LEL87789	LEL91837	LEL96963	LEL105166
LEL53261	LEL59333	LEL69269	LEL77372	LEL88380	LEL92195	LEL96999	LEL108374
LEL53820	LEL59826	LEL69334	LEL77383	LEL88410	LEL92466	LEL97025	LEL108628
LEL54420	LEL61358	LEL70043	LEL79474	LEL88985	LEL92531	LEL98115	LEL109552
LEL54433	LEL61513	LEL71754	LEL80065	LEL89324	LEL92579	LEL98613	
LEL54560	LEL61515	LEL72082	LEL81011	LEL89329	LEL92619	LEL98624	
LEL55260	LEL62776	LEL72083	LEL83746	LEL89368	LEL92660	LEL98694	
LEL56964	LEL62784	LEL72095	LEL84543	LEL89448	LEL92931	LEL98707	

Na Tabela 27, é descrita a mesma análise referida anteriormente, mas para os transformadores da A. Mais uma vez, a vermelho estão indicados os números de série cujos transformadores foram intervencionados segundo análises *post mortem*, e os restantes foram reabilitados. Também para os transformadores A, não é possível verificar nenhum padrão que se revele significativo para a causa das intervenções realizadas.

Tabela 27 - Número de Série dos TP's A MT/BT sujeitos a análises *post mortem* e de reabilitação

Nº Série A					
16310	16256.4	18557.3	K000434.08	K001593.14	K006061.05
12275.1	16281.2	18744.2	K000436.04	K001777.04	k006075.05
13825.3	16442.4	18894.4	k000437.01	K001945.06	K006159.02
15456.2	16710.2	18924.8	K000539.04	K002106.06	K006162.09
15530.9	16723.4	K000066.08	K000548.11	K002325.06	K006162.13
15651.12	16840.5	K000081.09	K000569.06	K002456.03	K006253.04
15839.14	17133.3	K000126.03	k000577.07	k002591.09	K006711.02
15849.1	17327.1	K000136.07	K000750.10	k003178.04	k007180.05
15878.6	17337.3	k000165.07	K000757.14	K003318.06	K007513.04
15921.7	17501.9	K000275.08	K000757.15	K003623.15	K007701.08
16003.7	17630.8	K000319.03	K000780.07	k003624.14	
16096.1	17659.4	K000329.10	K000895.01	K003671.10	
16120.2	18005.9	K000357.10	K000959.01	K005363.07	
16232.7	18021.3	K000358.09	K000974.04	K00564.04	
16238.6	18521.06	K000427.08	K001468.09	K005978.03	

2.7.1.9 Custos Totais

Os custos totais associados às intervenções realizadas ao conjunto dos 1 100 transformadores de média/baixa tensão, acenderam a cerca de 1 600 000 €. As beneficiações, cujos custos unitários são cerca de três vezes menores relativamente às reabilitações, apresentaram um valor total bastante superior em relação às reabilitações, devido à elevada diferença de intervenções realizadas entre ambas. Relativamente ao total de intervenções de cada tipo realizadas, os valores dos custos totais associados a cada uma, fazem sentido, como descrito na Tabela 28.

Tabela 28 - Comparação entre os custos totais e custos unitários, por intervenção

INTERVENÇÃO	CUSTOS TOTAIS	CUSTOS MÉDIOS UNITÁRIOS
Beneficiação	895 500 €	1 150 €
Reabilitação	664 500 €	4 150 €
Conservação	30 000 €	388 €
Análise Post Mortem	3 200 €	46 €

Após a análise realizada aos transformadores de média/baixa tensão, destacaram-se alguns pontos associados ao estado de exploração desses ativos, tais como:

- Apesar de uma maior existência de ativos da B, são mais comuns análises *post mortem* para ativos da A, mas maior quantidade de reabilitações para transformadores da B.
- Lisboa e Porto são os distritos com maior número de transformadores em exploração, contudo Leiria é o distrito com maior número de ativos intervencionados.
- Porto e Braga são dos distritos com maior número de transformadores em exploração, no entanto, ambos os distritos apresentam uma menor quantidade de intervenções realizadas relativamente aos restantes distritos.
- Faro é o distrito com maior número de análises *post mortem* e de reabilitações, apesar do número consideravelmente inferior de transformadores relativamente a outros distritos, como Lisboa e Porto. No entanto, Faro é o distrito cujos transformadores apresentam em média uma idade superior no momento da realização de intervenções *post mortem*.
- A idade média dos transformadores intervencionados com uma análise *post mortem*, é de apenas 12 anos, valor inferior a metade da vida contabilística útil, esperada para este tipo de ativos.

Levantam-se assim algumas questões, como por exemplo:

- Será o modelo atual de envio dos transformadores MT/BT para a fábrica, o mais adequado?
- As discrepâncias verificadas nas intervenções levadas a cabo nos diferentes distritos portugueses estarão relacionadas com algumas características locais, como por exemplo geográficas, de manutenção ou em termos de exploração?
- O conjunto de fatores associado à gestão de ativos por parte da EDP Distribuição, será o mais completo?

2.8 Conclusões do Capítulo

Em suma, com vista à obtenção de um bom desempenho dos transformadores de média/baixa tensão, de modo a manter custos e riscos controlados, é necessária a adoção de sistemas e métodos mais eficazes de apoio à gestão dos seus ativos, por parte da empresa. Para tal, a EDP Distribuição procura basear-se em diretrizes referenciadas pela norma ISO 55000.

Contudo, para uma melhor gestão dos mesmos, será necessário saber em que ativos intervir e quando devem ter lugar essas intervenções tendo em consideração os recursos existentes, de modo a diminuir os custos incorridos com as intervenções sobre os ativos, evitando chegar ao ponto em que é necessário efetuar análises *post mortem* e operações de reabilitação. É necessário estabelecer um conjunto de regras e critérios que permitam a criação de um modelo de priorização dos ativos a intervir, contemplando os benefícios, custos e riscos associados aos transformadores MT/BT, possibilitando identificar que ativos devem ser recuperados ou descontinuados/substituídos.

Na análise da situação atual existente na EDP Distribuição detetaram-se as seguintes lacunas:

- Dificuldade em comparar o nível de necessidade de intervenção para os ativos em estudo, levando a uma gestão ineficiente.
- Necessidade de um mecanismo de classificação do desempenho dos ativos, que permita identificar o estado de operação do ativo.
- Dificuldade em priorizar os ativos segundo um determinado nível de necessidade.

3 Revisão da Literatura

3.1 Introdução

Este capítulo tem como principal objetivo fundamentar a base teórica do processo de tomada de decisão em grupo para o problema em questão, expondo uma revisão da literatura existente de técnicas utilizadas no âmbito do processo, com foco nos modelos MCDA e de análise de portfólios, sendo descritos os métodos mais comuns utilizados para a investigação de problemas semelhantes ao problema investigado na presente dissertação. Inicialmente é realizada uma revisão da literatura acerca de sistemas de distribuição elétrica, como forma de introdução.

A revisão bibliográfica foi baseada numa pesquisa em artigos académicos existentes em base de dados como *Google Scholar e b-on*, utilizando palavras-chave como mapas cognitivos, tomada de decisão em grupo, modelos multicritério de apoio à decisão, análise de portfólios, *asset management*, *multicriteria decision models*, *MACBETH*, *Portfolio Robustness Evaluation*.

3.2 Sistemas de Distribuição Elétrica

O setor de distribuição elétrica tem vindo a aumentar o seu foco no tema da gestão de ativos, como um princípio para o desenvolvimento do seu negócio (Nordgård et al. 2009). O regulador do setor no Reino Unido encoraja explicitamente as empresas de distribuição de energia a serem certificadas de acordo com as especificações da norma ISO 55000 “*Asset Management*” com o intuito de lhes permitir obter um nível adequado de gestão dos seus ativos, assegurando uma gestão dos riscos a que os ativos estão sujeitos, a longo termo (Williams et al. 2007).

Para Williams et. al. (2007), o conceito de gestão de ativos cobre dois aspetos essenciais: a gestão das infraestruturas físicas e a gestão dos aspetos organizacionais. A especificação ISO 55000 fornece uma definição geral do conceito: “A gestão de ativos é simplesmente a maneira ótima de gerir os ativos de modo a alcançar um resultado desejável e sustentável” (Nordgård et al., 2009, p.2). A importância da gestão do risco também é referenciada na definição mais formal de gestão de ativos: “Atividades e práticas coordenadas pelas quais uma organização procura gerir de uma forma ótima os seus ativos, assim como o desempenho e o risco associados” (Nordgård et al., 2009, p.2).

3.3 Mapas Causais

3.3.1 Introdução

Numa fase inicial da investigação do problema em estudo, o principal foco consistiu em definir e analisar todos os aspetos relacionados com o problema de priorização dos ativos de média/baixa tensão assim como toda a envolvente necessária a ter em consideração de acordo com as preocupações expressas pelos decisores da EDP Distribuição. Para tal, foi utilizada uma técnica para estruturação de problemas, os mapas causais, técnica essa que será descrita de seguida, baseada numa revisão bibliográfica.

3.3.2 Estruturação do Problema

Segundo Nutt e Wilson (2010) a parte mais importante e crucial do processo de tomada de decisão em grupo, corresponde ao procedimento de mudança de pensamento dos indivíduos envolvidos, isto é, a melhor maneira de encarar e perceber o problema em estudo. À medida que os membros de uma equipa discutem, trocam pensamentos e opiniões, assim como caminhos e estratégias a seguir, estes tendem a influenciar a forma de pensamento dos restantes. A psicologia cognitiva deve, portanto, desempenhar um papel importante no processo de entendimento e análise durante o decorrer de um processo de tomada de decisão em grupo (McHugh, 1968). Segundo Wilson (2010) a teoria de cognição escolhida revela-se importante uma vez que influencia o processo de tomada de decisão, em particular na escolha de melhores decisões para o problema. A teoria da construção pessoal, desenvolvida, explicada e usada por George Kelly é sem dúvida bastante útil para tal (Kelly, 1955). Este autor interessava-se pelo modo como um indivíduo procurava fazer sentido relativamente ao mundo e a sua forma de atuar, assim como a maneira dessa forma de fazer sentido se alterava perante as situações, vendo os indivíduos como “*problem solvers*”. Esta introdução para a teoria da construção pessoal, tem como objetivo introduzir alguns dos princípios que servem de base para o processo de tomada de decisão como: tomada de decisão em grupo implica que cada membro altere a sua opinião; cada membro do grupo procura atribuir significado aos vários aspetos do problema; esse significado varia de pessoa para pessoa dependendo do seu sistema; o significado altera-se conforme o sistema de construção se altera e torna mais complexo; o significado depende da forma como a situação é compreendida, através do contraste e da similaridade, procurando explicações para o problema assim como as razões para a sua importância (Thomas e Thomas, 1928).

3.3.3 Definição de Mapas Cognitivos

Um mapa cognitivo corresponde à representação do pensamento relativamente a um problema, que resulta do processo de mapeamento do problema em questão, sendo esta a razão para a denominação atribuída (Eden, 2004). Este procura representar tanto as crenças como os valores de um indivíduo (Nutt e Wilson, 2010). Os mapas são constituídos por uma rede de nós e setas que os unem, em que a direção das setas representa relações de causalidade (Harary et al., 1965; Harary, 1972), razão pela qual muitas vezes estes tipos de mapas também são denominados mapas causais, particularmente quando estes são realizados por um grupo, não podendo ser relacionados apenas com a cognição de um só indivíduo (Eden, 2004). Segundo Eden (1992) este tipo de mapas representa informação subjetiva de maneira mais significativa e concisa, relativamente a outros modelos, funcionando como ferramenta para facilitar o processo de tomada de decisão, resolução de problemas e negociação em contextos organizacionais. Os mapas cognitivos são normalmente obtidos através da realização de uma entrevista, com o objetivo de representar toda a componente subjetiva do entrevistado (Eden, 2004). Em alguns casos, os entrevistados participam ativamente na validação dos seus próprios mapas, ao passo que noutros a ligação entre a recolha de informação e a construção do mapa é gerida apenas pelo investigador/facilitador ou entrevistador (Eden, 1992). Os mapas cognitivos não correspondem simplesmente a diagramas do tipo “*word and arrow*”, ou diagramas de influência ou mesmo “*mind-map/brain-map*” (Buzan e Buzan, 1993). Este tipo de mapas corresponde a uma técnica

de modelação que segue um determinado conjunto de regras para o seu desenvolvimento. Segundo Eden (2004) a base formal deste tipo de mapas deriva da teoria da construção pessoal, sendo esta a base que atribui valor a este tipo de mapas no campo da investigação operacional (Kelly, 1955).

Os mapas cognitivos são caracterizados por uma estrutura hierárquica que é normalmente apresentada como um grafo meio/fim, com objetivos sobre a forma de frases apresentados na parte superior. Em termos representativos, um mapa cognitivo é usualmente definido por pequenas frases de texto ligadas por setas unidireccionais entre elas (Eden, 2004). Em termos gerais, uma frase na origem de uma seta (da qual a seta aponta) possui uma relação de causalidade ou influência sobre a frase que se encontra no outro extremo da seta, ou seja, para onde a seta aponta. Ao lado de cada uma das ligações entre nós, pode também ser apresentada informação sobre a força de cada uma destas. As expressões principais, colocadas mais acima, correspondem a objetivos a atingir ou a evitar, correspondendo o outro lado da seta a opções para atingir esses objetivos (Eden, 2004). Quando certas expressões correspondem a fins a evitar, como por exemplo a ocorrência de desastres ou custos a evitar, estas são referidas como “objetivos-negativos” (Eden, 2004).

Segundo Eden (2004) este tipo de mapas realizados em ambientes de estudo organizacionais apresentam um reduzido número de nós e setas, ao passo que mapas desenvolvidos como modelos com o objetivo de estruturar problemas em investigação operacional dão origem a trabalhos mais extensos (30-120 nós) após entrevistas com cerca de uma hora de duração. Quanto maior for a dimensão do projeto assim como o número de mapas a ter em consideração para a criação do mapa final, maior este será, proporcionando um maior valor acrescentado em relação aos mapas de menor dimensão, apesar destes proporcionarem um ponto de partida importante para o desenvolvimento do projeto, através de um bom entendimento do problema básico. Contudo, a qualidade de representação deste tipo de mapas depende principalmente da qualidade do entrevistador, tanto como ouvinte como interpretador (Eden, 2004).

3.4 Métodos Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)

3.4.1 Introdução

Após a exposição e identificação das componentes envolventes do problema, através da realização do mapa cognitivo, torna-se agora necessário a utilização de um modelo que permita avaliar o desempenho das alternativas avaliadas para o problema em estudo. De forma a avaliar tal desempenho é necessário ter em consideração vários critérios de avaliação. Neste contexto, é decidido utilizar uma Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA). Este tipo de metodologia permite a realização de uma análise com múltiplos critérios de modo a facilitar o processo de tomada de decisão seja por um só indivíduo ou grupo decisor (Linkov et al., 2005). Sem o auxílio de uma metodologia indicada na resolução de problemas de tomada de decisão o decisor cairia no erro de se concentrar apenas num grupo restrito de critérios, podendo incluir sentimentos pessoais, acabando por formar uma opinião sem a quantidade de informação necessária, influenciando o seu processo de tomada de decisão (Lahdelma et al., 2000).

A utilização deste tipo de metodologia de apoio à decisão é muito comum no âmbito do processo de tomada de decisão, uma vez que fornece uma abordagem organizada e racional capaz de integrar

vários requisitos importantes para o processo assim como a presença dos vários *stakeholders* envolvidos, cada um com os seus objetivos, visão e exigências, sendo tal possível com este tipo de metodologia (Mendoza e Martins, 2006).

A interação com os decisores, através da abordagem MCDA envolve geralmente um ator externo, especialista em análise de decisão, cujo objetivo consiste no auxílio ao grupo decisor no decorrer do processo de avaliação (Zeleny e Cochrane, 1982). Dependendo do tipo de metodologia MCDA adotada, o papel desempenhado pelo especialista pode variar: pode ser visto como um perito que resolve o problema sem o envolvimento direto do cliente (abordagem normativa); pode atuar como um analista que, em conjunto com o cliente, resolve o problema (abordagem prescritiva); como facilitador cujo objetivo consiste no auxílio para um melhor conhecimento por parte do cliente relativamente ao problema, assim como no processo de resolução do problema (abordagem construtiva) (Zeleny e Cochrane, 1982).

Segundo Mendoza e Martins (2006), uma das características dos modelos multicritério de apoio à decisão é o facto de estes serem compostos por quatro propriedades que o tornam interessante na estruturação de um problema: tem em conta múltiplos critérios; facilita o processo de estruturação do problema; detém um processo racional, perceptível e explicativo do modelo; fornece um modelo de análise do problema capaz de servir como objeto de discussão. Os modelos MCDA permitem a criação de uma lista de opções, ordenada, segundo a preferência do decisor, baseando-se em três processos principais, descritos na Figura 10: estruturação, avaliação e seleção da melhor alternativa (Bana e Costa et al., 2005):

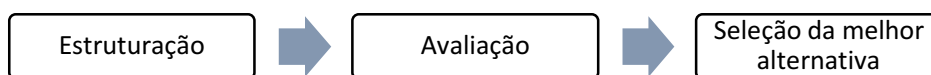


Figura 10 - Diagrama MCDA (adaptado de Bana e Costa et al., 2005)

- Estruturação – formulação do problema, identificação do decisor e de todos os *stakeholders*, identificação dos critérios de aceitação/rejeição e dos critérios de avaliação, e das alternativas.
- Avaliação – o desempenho revelado pelas diferentes alternativas para cada um dos critérios considerados é transformado em valor e são definidos os pesos dos critérios, pelo decisor. O valor de cada alternativa em cada um dos critérios é agregado de modo a obter-se o seu valor global, sendo posteriormente realizadas análises de sensibilidade e de robustez aos resultados.
- Seleção da melhor alternativa – hipótese mais atrativa tendo em conta a análise efetuada aos resultados obtidos do modelo e tendo em consideração as análises de sensibilidade e de robustez efetuadas anteriormente.

Contudo, a natureza dos processos de tomada de decisão é sempre diferente, e existem diferentes técnicas MCDA, significando que determinado procedimento será mais indicado do que outro relativamente a um dado processo de tomada de decisão. As diferentes técnicas MCDA existentes, podem ser utilizadas tanto em processos de identificação da alternativa preferida, como na classificação de alternativas ou apenas para distinguir possibilidades consideradas aceitáveis das não aceitáveis (Figueira et al., 2005).

Um dos atributos fundamentais da MCDA consiste no facto de o decisor ser fundamental no processo de seleção de objetivos e critérios do modelo, assim como na determinação dos pesos associados aos respetivos critérios, e também na avaliação do contributo de cada alternativa em cada um dos critérios de avaliação (Figueira et al., 2005). Este tipo de modelo possui algumas vantagens face a modelos monocritério, como a análise custo-benefício por exemplo, permitindo integrar aspetos relevantes para o problema, tanto de natureza objetiva (dados factuais) como subjetiva (sistema de valor e preferências dos decisores), (Figueira et al., 2005). Em suma, os métodos MCDA constituem uma importante ferramenta na resolução de problemas complexos devido à sua capacidade em gerir uma elevada quantidade de dados quantitativos, qualitativos assim como informações subjetivas do decisor, criando um ambiente de colaboração no âmbito do processo de apoio à decisão (Mendoza e Martins, 2006).

3.4.2 Métodos MCDA

Como referido anteriormente, existem diversos métodos de análise multicritério (MCDA), e com o intuito de escolher o modelo mais indicado para o problema analisado foi elaborada uma revisão bibliográfica acerca do tema (ver Tabela 29):

Métodos de prevalência (*outranking*) – são comparados diferentes cursos de ação entre si, numa fase inicial em cada um dos critérios determinados, por forma a permitir uma identificação da preferência de uma ação em detrimento de outra, sendo usualmente determinado um índice que qualifica cada uma das alternativas em relação às restantes. Após a agregação das informações relativas à preferência do conjunto de critérios, o modelo procura determinar uma ação preferível em relação às restantes (Cho, 2003).

Métodos *Multiattribute Utility Theory* – assume que as preferências do decisor podem ser representadas segundo uma função de utilidade ou valor, sendo a sua avaliação baseada no uso de modelos aditivos, multiplicativos, entre outros (Guitouni e Martel, 1998).

Tabela 29 - Modelos MCDA (adaptado de Figueira et al., 2005)

MÉTODOS DE PREVALÊNCIA (<i>OUTRANKING</i>)	
ELECTRE	O método ELECTRE procura reduzir a dimensão do conjunto de alternativas não-dominadas. A ideia base consiste no facto de uma alternativa poder ser eliminada, caso esta seja dominada por outras alternativas.
PROMETHEE	Este método baseia-se nos mesmos princípios que o anterior. Apresenta seis funções que podem ser aplicadas para descrever as preferências do grupo decisor em cada critério. Utilizando os fluxos de entrada e saída o PROMETHEE fornece uma ordem parcial das alternativas consideradas.
REGIME	Utiliza uma matriz para a comparação de pares de alternativas, exibindo: +1, caso exista dominância; 0, se as alternativas forem equivalentes; e -1, perante uma dominância negativa. Através da agregação dos resultados ponderados, este método fornece uma pré-ordenação das alternativas.
AHP E MULTIATTRIBUTE UTILITY THEORY	
AHP (Analytic Hierarchy Process)	Baseia-se num método de comparação quantitativa entre critérios, dois a dois (<i>pairwise</i>). Cada um dos critérios é comparado com todos os outros recorrendo a uma escala numérica, fornecendo uma matriz final.
MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)	Agregação de valores obtidos através da avaliação de funções de utilidade (parcial) em cada critério, de forma a obter uma função de utilidade global. Esta pode ser obtida de forma aditiva ou multiplicativa, dependendo das condições.

(continua)

Tabela 29 - Modelos MCDA (adaptado de Figueira et al., 2005) (continuação)

<i>AHP E MULTIATTRIBUTE UTILITY THEORY</i>	
MAVT (Multi-Attribute Value Theory)	Agregação de valor obtido através da avaliação das diferentes alternativas, utilizando para tal, funções de valor (parcial) em cada um dos critérios, de forma a definir uma função de valor global. A função de valor global pode ser determinada de forma aditiva ou multiplicativa, dependendo das condições.
UTA (Utility Theory Additive)	Baseando-se numa regressão ordinal, estima as funções de valor em cada critério. Esta função de valor global é obtida de forma aditiva.

3.4.3 MACBETH

“*Measuring Attractiveness by a Category-Based Evaluation Technique*”, é uma metodologia que aborda o processo de tomada de decisão para problemas de avaliação multicritério (Bana e Costa et al., 2012). O objetivo por detrás do seu funcionamento consiste em permitir medir a atratividade ou o diferente valor entre as alternativas consideradas, através de um método questionário de comparação, não-numérico, baseado em sete categorias qualitativas distintas em termos de atratividade: não existe diferença (indiferente), a diferença é muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema (Bana e Costa et al., 2012). Segundo os mesmos autores, a principal diferença para os métodos numéricos de medição de valor, consiste no facto de o MACBETH utilizar apenas julgamentos qualitativos de diferença de atratividade, de modo a gerar, através de programação matemática, escalas de valor para as alternativas assim como pesos para os critérios. O sistema de apoio à decisão, M-MACBETH (2005), foi criado de forma a ser utilizado por um consultor (também designado facilitador ou analista de decisão), em diferentes etapas do processo de modelação multicritério, seguindo os princípios do processo de consultoria, criando um processo sociotécnico que combina os elementos técnicos do *software* com os aspetos sociais do processo de tomada de decisão em grupo (Bana e Costa et al., 2012).

Esta metodologia baseia-se numa abordagem humanista e interativa do problema, cujo modelo quantitativo construído é baseado em julgamentos qualitativos, o que permite uma modelação de preferência ordinal a cardinal, sem o perigo de perda de rigor e consistência (Bana e Costa et al., 2008). Esta é também bastante utilizada em problemas de avaliação, priorização e seleção de projetos de investimento, estratégia e políticas assim como alocação de recursos (Bana e Costa et al., 2012).

Por este tipo de metodologia ser repartido em pequenas partes, permite um melhor entendimento da parte do grupo de decisores, permitindo o funcionamento do processo de uma forma construtiva. No final do processo, a metodologia MACBETH calcula, partindo dos juízos do grupo de decisores, os coeficientes de ponderação para cada um dos critérios adotados (Bana e Costa e Beinat, 2005).

Uma das mais valias da metodologia MACBETH é basear-se em julgamentos qualitativos, e não quantitativos, com o intuito de comparar os diferentes níveis de atratividade entre os elementos (Bana e Costa et al., 2005). Esses julgamentos são obtidos em conferências de decisão, proporcionando uma iteração e interação reflexiva entre o grupo de decisores e o modelo desenvolvido, para que a informação analisada e inserida no programa possa ser do entendimento de todos os intervenientes permitindo um conhecimento de todas as fases de construção do modelo (Bana e Costa e Beinat, 2005).

O coeficiente de ponderação de cada critério é apurado a partir do M-MACBETH, utilizando para tal os juízos qualitativos de diferenças de atratividade entre alternativas fictícias fornecidas pelo decisor. Usualmente na abordagem MACBETH definem-se dois níveis distintos de desempenho de referência: um nível designado “Neutro” (nível caracterizado por não ser atrativo nem repulsivo para o decisor), e um nível “Bom” (nível atrativo) (Bana e Costa et al., 2012). A partir da definição destes dois níveis, o processo de julgamento do decisor torna-se mais facilitado devido às duas referências estabelecidas (Bana e Costa et al., 2012).

Posteriormente, o processo MACBETH de apoio à decisão evolui para o desenvolvimento de um modelo quantitativo de avaliação (Bana e Costa et al., 2005 e 2012). São usualmente fixadas as pontuações dos níveis de referência Bom e Neutro, em 100 e 0, respetivamente. Baseando-se nos julgamentos efetuados pelo avaliador e utilizando as funcionalidades presentes no software M-MACBETH, são, de uma forma gradual, sugeridas e discutidas escalas de pontuação em cada um dos critérios assim como os pesos relativos para os mesmos (Bana e Costa et al., 2005). De seguida, é calculada uma pontuação global para cada uma das alternativas, através de uma soma ponderada das pontuações por elas obtidas nos múltiplos critérios existentes (Bana e Costa et al., 2005).

A forma mais simples e mais comum utilizada na agregação de valor, é o modelo aditivo, representado na equação 1 (Bana e Costa et al., 2012):

$$V(A) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(A_i) \text{ com } \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i > 0 \quad (1)$$

onde,

- $V(A)$ é o valor global de desempenho da alternativa A ;
- A_i é o desempenho da alternativa A no critério i ($i=1, \dots, n$);
- $v_i(A_i)$ é o valor parcial do desempenho da alternativa A no critério i ($i=1, \dots, n$);
- w_i corresponde aos coeficientes de ponderação ou pesos relativos dos critérios, que permitem transformar as unidades de valor parcial, v_i , em unidades de valor global V .

Após esta formulação do problema, é possível realizar análises de sensibilidade e de robustez aos resultados obtidos pelo modelo, de forma a permitir compreender o problema mais profundamente, ajustar o modelo assim como formar convicções a cerca das prioridades a estabelecer ou opções a seleccionar, em contexto de tomada de decisão individual ou em grupo. O *software* M-MACBETH permite várias representações gráficas, facilitando a elaboração de um relatório final justificando as recomendações elaboradas (Bana e Costa et al., 2005).

3.4.3.1 Estrutura da Abordagem MACBETH

A abordagem MACBETH divide-se nas seguintes etapas, descritas na Tabela 30:

Tabela 30 - Estruturação do Modelo Multicritério (adaptado de Bana e Costa e Beinat, 2005)

ESTRUTURAÇÃO DO MODELO	
FASES	ETAPAS
Definição do problema	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação dos objetivos • Processo sociotécnico

(continua)

Tabela 30 - Estruturação do Modelo Multicritério (adaptado de Bana e Costa e Beinart, 2005)
(continuação)

ESTRUTURAÇÃO DO MODELO	
FASES	ETAPAS
Estruturação do modelo e respetiva avaliação de impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de critérios e descritores de desempenho • Determinação das funções de valor e dos pesos dos critérios
Análise dos resultados obtidos	<ul style="list-style-type: none"> • Construção e distribuição das opções pelas categorias de valor

Numa fase inicial é contextualizado o problema, definida a estrutura e os objetivos do modelo e selecionadas as alternativas a serem avaliadas. Posteriormente, após a definição dos critérios de avaliação e dos respetivos descritores de desempenho, são pedidos aos decisores os juízos de valor nas respetivas etapas de avaliação, que permitirão construir funções de valor e obter os pesos dos critérios de avaliação (Bana e Costa et al., 2012). Cada vez que é pedido um novo juízo qualitativo ao decisor é realizada uma verificação sobre a consistência dos restantes juízos tomados até ao momento, assim como são fornecidas sugestões para a resolução de possíveis inconsistências verificadas. Posteriormente, o sistema de apoio à decisão MACBETH, calcula as pontuações a serem atribuídas a cada desempenho partindo dos juízos consistentes fornecidos pelo decisor (Bana e Costa et al., 2012).

3.5 Análise de Portefólios

3.5.1 Introdução

As empresas e organizações enfrentam um número de projetos de investimento que excede a sua disponibilidade em termos de recursos, procurando geralmente encontrar o conjunto de projetos (portefólio) que maximize o seu valor criado (Lourenço et al., 2017). Face às restrições existentes, um gestor pretende selecionar o portefólio de projetos que proporcione à organização o maior valor de benefício possível (Lourenço et al., 2012). Uma análise exaustiva ao conjunto total possível de portefólios seria impensável mesmo para um número reduzido de projetos, uma vez que, por exemplo, para um número reduzido de 20 projetos, o resultado final resultaria em cerca de um milhão de portefólios ($2^{20} = 1,048,576$) (Lourenço et al., 2012). Assumindo que os projetos são indivisíveis, o problema conduz a uma formulação matemática binária, sujeita a restrições em termos de orçamento ou de outro tipo (Lourenço et al., 2017). Caso existam interdependências entre projetos, é também possível a existência de funções objetivo não-lineares, podendo a sua formulação ser considerada multiobjectivo (Dickinson et al., 2001).

A seleção de múltiplos projetos, sobre restrições orçamentais, pode também ser realizada segundo uma abordagem de priorização (Lourenço et al., 2017), sendo os projetos priorizados segundo um rácio benefício/custo, e selecionados até o orçamento disponível ser atingido (Phillips e Bana e Costa, 2007). Este tipo de abordagem é apelativo no contexto do processo de tomada de decisão estratégica, uma vez que permite uma interação direta com o grupo decisor. Contudo, esta não é a mais indicada para lidar com restrições em termos de programação e múltiplos períodos de tempo distintos (Lourenço et al., 2017).

3.5.2 Abordagens para Análise de Portefólios

Das abordagens utilizadas para formar portefólios eficientes de projetos destacam-se as seguintes (Lourenço et al., 2017):

- **Priorização benefício/custo:** consiste numa ordenação decrescente dos projetos segundo o rácio benefício/custo. A lista é percorrida, escolhendo projetos para incluir no portefólio até o orçamento disponível ser atingido. Permite formar apenas portefólios convexamente eficientes. Este método é mais simples de aplicar relativamente à otimização, uma vez que a otimização requer a utilização de um *solver*. A priorização permite ainda lidar com um elevado número de projetos, o qual é dificilmente aplicável na otimização, devido ao facto de o problema, também denominado “saco-mochila” (*knapsack*) ser muito mais difícil de resolver (de fato, o problema *knapsack* é classificado como NP-difícil (Garey e Johnson, 1979). O portefólio selecionado através da abordagem do rácio benefício/custo produz o maior benefício para o dinheiro despendido, mas não necessariamente o máximo benefício para o dinheiro disponível (Lourenço et al., 2012).
- **Otimização:** o portefólio eficiente de projetos é a solução ótima de um problema de programação binária $\{0,1\}$ (BIP), conhecido como problema “saco-mochila” (*knapsack*), no qual se maximiza a soma dos benefícios dos projetos tendo em conta a restrição de que a soma dos custos dos projetos não pode exceder o orçamento disponível. Esta abordagem permite lidar com um maior número de restrições do que a priorização, e considerar sinergias e/ou outros tipos de interação entre projetos, assim como restrições em termos de orçamento em períodos de tempo distintos, ao passo que a priorização está limitada a problemas com uma única restrição em termos orçamentais. Esta abordagem forma qualquer tipo de portefólios, convexamente ou não convexamente eficientes.

A formulação matemática por detrás desta abordagem consiste na apresentada na equação 2:

$$\text{Maximizar: } \sum_{j=1}^m v_j x_j \quad (2)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{j=1}^m c_j x_j \leq B, \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Onde,

- x_j é uma variável binária tal que $x_j = 1$ se o projeto j se encontrar no portefólio ótimo, e $x_j = 0$ caso contrário.
- B é o orçamento disponível.
- c_j representa o custo do projeto j .
- v_j representa o valor do benefício do projeto j .

3.5.3 PROBE (*Portfolio Robustness Evaluation*)

O sistema de apoio à decisão PROBE permite uma análise multicritério de portefólios, implementando a abordagem de otimização e procurando também as soluções dadas pela abordagem de priorização (Lourenço et al., 2012). Este sistema considera vários tipos de restrições lineares, e dados os benefícios e custos do projeto identifica todos os portefólios convexamente e não convexamente eficientes (Lourenço et al., 2017). Quando são definidos vários critérios de benefício, o PROBE calcula o valor de benefício de cada projeto através de um modelo de valor aditivo (Lourenço et al., 2012). Posto isto, as informações básicas de cada projeto para uma análise multicritério de portefólios são os custos de cada projeto e os valores de desempenho nos critérios de benefício, e os pesos que captam os *trade-offs* entre os critérios (Lourenço et al., 2012). O sistema permite também analisar a robustez de um determinado portefólio escolhido, considerando margens de incerteza relativamente aos benefícios do projeto, procurando outros portefólios possíveis que ofereçam um maior nível de benefício geral sem aumentar o custo total associado (Lourenço et al., 2017). O PROBE identifica todos os portefólios eficientes e retrata a respetiva fronteira de Pareto, distinguindo os portefólios convexamente e não convexamente eficientes (Lourenço et al., 2012).

3.6 O Caso de Priorização de Intervenções em Edifícios da Câmara Municipal de Lisboa

O caso descrito por Bana e Costa e Oliveira (2002) consiste no desenvolvimento de um modelo de avaliação multicritério, que permite a criação de um programa relativamente à priorização de intervenções a serem realizadas sobre edifícios pertencentes à câmara municipal de Lisboa. Para tal, os edifícios a intervir foram divididos segundo diferentes categorias, através da definição de um índice de prioridade, de forma a refletir o grau de necessidade de manutenção. A partir da definição dos diferentes graus de necessidade de manutenção, foram associados diferentes níveis de prioridade distintos: baixa prioridade, prioridade média, urgente ou muito urgente. Através da realização de entrevistas com o grupo decisor, foi construída uma árvore de valor para o problema em investigação, considerando uma família coerente de pontos de vista fundamentais, de forma a formarem os critérios de avaliação da urgência para cada edifício considerado (ver Figura 11).

Posteriormente foi contruído um modelo de valor, através da medição das diferenças de atratividade entre cada nível de prioridade de intervenção, atribuindo a cada critério favorável (à esquerda na imagem) uma função de valor entre 0-100 para o seu descritor. Essa função de valor traduz o desempenho em pontuações, indicando a atratividade relativa a cada um dos desempenhos num critério de avaliação. A abordagem MACBETH foi utilizada para este processo. A partir das funções de valor e dos pesos dos critérios, e após a validação do modelo, o modelo de avaliação foi utilizado para associar uma pontuação geral, que neste caso corresponde a um índice de prioridade. A cada intervalo de valores do índice de prioridade de intervenção está associado um nível de urgência.

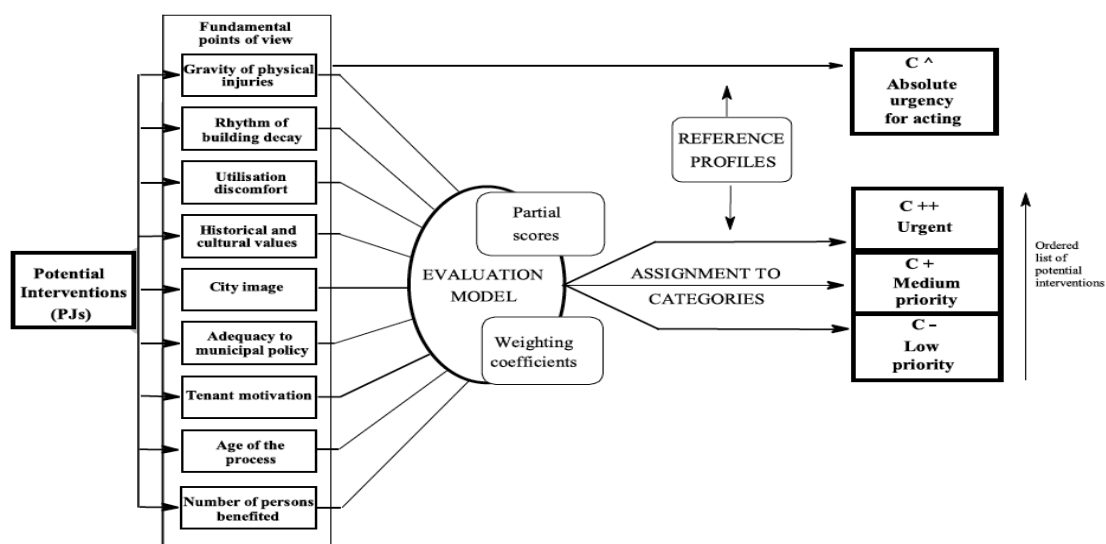


Figura 11 - Vista geral do modelo de priorização de intervenções sobre edifícios da CML (adaptado de Bana e Costa e Oliveira, 2002)

O passo seguinte consistiu na identificação de perfis de referência. Para tal utilizou-se o procedimento *Top-down / Bottom-up*, permitindo contruir diversos perfis de referência, através de várias combinações de desempenho nos critérios de avaliação. Apesar de nem todos os perfis de referência poderem conduzir aos mesmos valores, podendo ocorrer certas discrepâncias, procede-se à reflexão e discussão das possíveis causas, permitindo comparar diferentes visões em relação ao modelo, definindo assim algumas formulações e parâmetros para o modelo de avaliação multicritério. Como resultado desse exercício, foram obtidos os valores numéricos do modelo.

3.6.1 Agregação dos Edifícios a Intervir em Portefólios

Dado que a redução dos custos não pode ser avaliada diretamente no momento, optou-se por realizar uma avaliação das vantagens de agregar os ativos a intervir, em portefólios. Esta avaliação utiliza um sistema de classificação que avalia o grau de sinergia resultante da agregação realizada. Se a um ativo for atribuído uma determinada classificação superior de sinergia, significa que essa sinergia constitui uma vantagem para o modelo, após a agregação desse ativo. Quanto maior for essa vantagem, maior a classificação da sinergia. Também existem fatores que provocam a diminuição da classificação atribuída a um determinado conjunto de ativos, como por exemplo, distâncias extensas entre os edifícios, custo total da agregação demasiado elevado, etc. O ativo com um índice de sinergia mais elevado, relativamente a um portefólio já formado, é adicionado a esse portefólio. Após a conclusão de um portefólio de ativos, o processo realiza-se de novo até todos os ativos terem sido agregados ou até não existirem mais ganhos por acrescentar um ativo a um portefólio.

O processo inicia-se com a escolha de um edifício, entre os analisados, para os quais já foi calculada uma estimativa do custo. Usando este processo de seleção, é criado um conjunto de ativos candidatos, tendo sido aplicado a cada ativo um nível de urgência através da aplicação do modelo de avaliação multicritério, tornando possível a realização de um ranking de urgência de ativos a intervir

por ordem decrescente de urgência. É possível criar algumas restrições face à agregação de ativos como:

- Caso o orçamento seja excedido para um determinado ativo isolado, esse ativo não poderá ser agregado a mais nenhum.
- Imposição de ativos isolados devido a determinados critérios considerados no modelo, assumindo uma importância num determinado contexto específico.
- Diminuição da vantagem de um portefólio, devido à adição de um ativo.
- Devido a questões relacionadas com a distribuição geográfica dos ativos.
- Incompatibilidade entre ativos candidatos ao mesmo portefólio.
- A agregação de um determinado conjunto de ativos no mesmo portefólio pode conduzir ao tratamento distinto entre eles.
- Em caso de empate das pontuações de dois ativos (índice de sinergia igual), será dada preferência ao ativo com maior urgência, e caso se mantenha a igualdade, é escolhido aquele com maior rácio: valor de prioridade/custo.
- Quando um ativo for incluído num portefólio, torna-se necessário reavaliar os índices de sinergia associados aos restantes ativos candidatos, uma vez que o conjunto dos ativos restantes a compor os portefólios foi alterado, sendo então necessário atualizar os índices de sinergia.
- Por vezes pode ser necessário proceder a uma agregação forçada, em casos específicos, como por exemplo, ativos que necessitam de uma intervenção simultânea visto dependerem um do outro.

Por último, foi realizada a validação do modelo, sendo avaliadas as sinergias existentes. Este tipo de avaliação conduz a algumas vantagens como uma redução de custos, associando intervenções que incorporem elementos semelhantes, e aumento da eficiência de inspeção e monitorização.

3.7 O Caso de Desenvolvimento de um Modelo Multicritério adaptado a um Programa de Manutenção Preditiva

Um sistema de manutenção preditiva consiste numa inspeção sistemática, deteção, correção e prevenção de falhas, num momento anterior à sua ocorrência, evitando que estas se transformem em falhas reais ou mesmo catastróficas (Bana e Costa et al., 2012). A manutenção preditiva (MP) consiste num tipo de manutenção preventiva especial, na qual a manutenção é realizada de forma contínua ou em intervalos de tempo de acordo com os requerimentos necessários para um diagnóstico e monitorização da condição do sistema (Luthra, 2010). A manutenção preditiva permite gerar elevados ganhos em termos de aumento da disponibilidade, segurança, qualidade, produtividade dos equipamentos e instalações, e diminuir custos de manutenção e seguros (Christer et al., 1997; Villar et al., 2000; Lupinucci et al., 2000; Weyerhaeuser, 2000; Swanson, 2001; Wang, 2002; Mobley, 2002; Carnero, 2005). A definição e implementação de um programa de manutenção preditiva (PMP) é considerada como uma decisão de gestão estratégica (Tsang, 2002). O PMP faz uso das ferramentas mais económicas existentes (por exemplo, monitorização da vibração, análises ao óleo ou termografia)

de modo a obter informação sobre a atual condição de operação das estruturas críticas, e baseado em tal, são agendadas as atividades de manutenção de acordo com a respetiva necessidade (Mobley, 2002). Os programas de manutenção preditiva têm vindo a ser crescentemente adotados pelas organizações (Carnero, 2005). De acordo com Mobley (2012), as organizações investem em média cerca de 15,8% do seu orçamento anual para manutenção em PMP. No entanto, existem evidências que apontam para que grande percentagem dos PMP sejam de utilização limitada ou sejam eliminados após breves períodos de tempo, uma vez que estes não fornecem benefícios mensuráveis (Mobley, 1997). Tal é justificado devido às dificuldades práticas na avaliação do desempenho da manutenção na sua generalidade (Waevenberg and Pintelon, 2002), assim como na definição do PMP que envolve diversos utilizadores, equipamentos e instalações e nas alterações organizacionais necessárias para uma correta utilização das ferramentas preditivas (Mobley 2002). Contudo, deve-se principalmente à falta de ferramentas e métodos apropriados necessários à monitorização e controlo de fatores que conduzem ao aparecimento e desenvolvimento de deficiências durante o ciclo de vida do PMP (Carenero, 2004). O modelo multicritério desenvolvido, pretende contribuir para a prevenção desta mesma falha.

3.7.1 Processo de Construção do Modelo

A análise multicritério é uma estratégia analítica indicada para a construção do modelo descrito, cumprindo todas as condições e requerimentos descritos anteriormente. As principais atividades para o desenvolvimento do modelo multicritério são as descritas na Figura 12 (Bana e Costa et al., 2012).

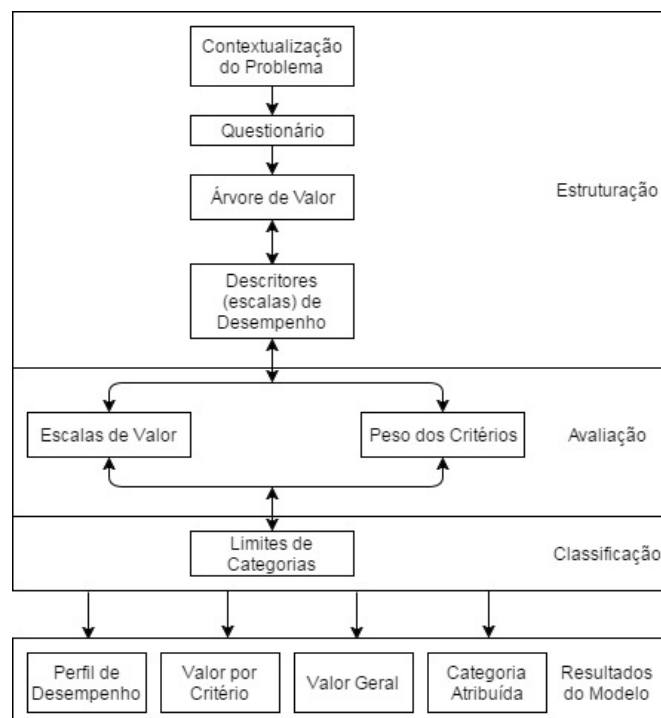


Figura 12 - Atividades desenvolvidas para a construção do modelo multicritério e respetivos resultados (adaptado de Bana e Costa et al., 2012)

Adotando os princípios do pensamento focado no valor (Keeney, 1992), a abordagem a seguir para o problema analisado seria a indicada (Bana e Costa et al., 2012). São identificadas e organizadas as áreas de preocupação assim como os aspectos principais afetos ao problema, sobre a forma de uma estrutura de dois níveis, sendo associados descritores de desempenho aos critérios de forma a torná-los operacionais, para o posterior desenvolvimento do PMP (Bana e Costa et al., 2012). O questionário interno é o início da atividade de estruturação, envolvendo indivíduos da organização com o intuito de identificar conjuntos de critérios coerentes entre si para a intervenção do programa de manutenção (Bana e Costa et al., 2012). Os descritores de desempenho são definidos a partir das respostas fornecidas ao questionário realizado anteriormente (Bana e Costa et al., 2012). O desempenho é assumido como não sendo apenas relativo a níveis atingidos anteriormente, como geralmente aceita, mas sim a níveis futuros, relativamente à capacidade da unidade ser avaliada (Lebas, 1995), permitindo aos descritores de desempenho traduzir a informação necessária para uma implementação efetiva do PMP (Bana e Costa et al., 2012). Os descritores são escalas de desempenho formadas por vários níveis de referência, que permitem a avaliação do programa de manutenção preditiva em cada critério assim como uma noção do desempenho do perfil do programa em cada área. São definidos, em particular, dois níveis de referência – o “nível a atingir” e o “nível base” – que possuem um significado importante e substantivo para os gestores, sendo atribuídos a cada critério quando o “nível a atingir” é previsto como o nível de desempenho esperado pelos gestores, indicando que não é requerida melhoria no respectivo critério, e o “nível base” é definido como nível de desempenho neutro em termos de necessidade de melhoria (uma vez que assegura condições de trabalho regulares), sendo recomendado, em cada critério, melhorar o desempenho do PMP, no mínimo até ao “nível base” ser atingido, apesar do nível de desempenho nos restantes critérios (Bana e Costa et al., 2012).

No entanto, um determinado valor de desempenho do PMP é uma coisa, mas a sua atratividade ou valor (utilidade) para a gestão é outra diferente. Se o valor correspondente ao desempenho do PMP aumentar, como pode o valor acrescentado correspondente a esse aumento, ao nível dos critérios, da respetiva área e em termos globais, ser mensurado? A resposta a esta pergunta crítica de gestão é obtida através da construção de um modelo de valor (Bana e Costa et al., 2012). Uma escala de valor (ou função) é associada a cada escala de desempenho de cada um dos critérios, permitindo associar uma escala de valor ao desempenho do PMP em cada critério, medindo a atratividade do PMP ao nível dos critérios (Bana e Costa et al., 2012). Para avaliar o PMP ao nível de cada área, as pontuações de valor dos critérios de cada uma devem ser agregadas, o que requer a sua conversão para uma escala de mensuração comum de valores. Este é o papel do escalonamento dos pesos que foram associados a cada critério, que multiplicados pelos valores de pontuação e resumidos, definem um modelo de valor aditivo permitindo à pontuação de uma área de valor ser associada ao PMP (Bana e Costa et al., 2012). O mesmo processo de agregação aditiva, agora aplicado às pontuações das diferentes áreas, com os pesos associados a cada área, permite calcular o valor global, avaliando assim o estado global do PMP (Bana e Costa et al., 2012).

A escolha de um modelo aditivo assume implicitamente “*difference independence*” (Kirkwood, 1997), isto é: a diferença de atratividade entre níveis de desempenho num dado critério, não depende

e pode ser medida independentemente dos níveis existentes para outros critérios (Bana e Costa et al., 2012).

Os descritores ou escalas de desempenho são a essência da componente objetiva do modelo, a fonte da informação fatural tão inequívoca quanto possível, para a elaboração de julgamentos de valor (Bana e Costa et al., 2012). Os julgamentos de valor realizados pelos gestores, requeridos para a construção de escalas de valor e atribuição de pesos aos critérios e áreas, são a essência da componente subjetiva do modelo (Bana e Costa et al., 2012).

A adoção da abordagem MACBETH para o contexto do problema é motivada pela intenção deliberada de evitar a dificuldade (von Winterfeldt e Edwards, 1986) e inquietação cognitiva (Fasolo e Bana e Costa, 2014) experienciada pelos gestores aquando da tentativa de expressar as suas preferências sobre a forma de julgamentos numéricos e testar num modelo real o programa de manutenção desenvolvido, testando se o método MACBETH se revela verdadeiramente eficaz para este propósito (Bana e Costa et al., 2012).

Tipicamente, quando aplicado o método MACBETH a aplicações, em primeiro lugar é definido o descritor para cada critério e conseqüentemente esta escala de desempenho é convertida numa escala de valor através de julgamentos qualitativos de diferenças de atratividade entre os níveis de desempenho, dois de cada vez (Bana e Costa et al., 2012). O *software* M-MACBETH (Bana e Costa et al., 2003), que implementa a abordagem MACBETH, permite ao utilizador preencher a matriz de julgamentos, após o qual fornece uma escala de valor proveniente de uma matriz de julgamentos consistente, a qual deve ser validada pelo decisor e se necessário ajustar algumas pontuações (Bana e Costa et al., 2012). Os resultados obtidos a partir do modelo desenvolvido, permitem suportar a gestão do plano de manutenção, incluindo a monitorização do desempenho do plano e o seu valor ao longo do tempo, saber que áreas necessitam de uma maior atenção assim como o aumento da eficiência das intervenções necessárias segundo o PMP (Bana e Costa et al., 2012).

3.8 Conclusões do Capítulo

Após serem analisadas diferentes técnicas de apoio à decisão, assim como os casos semelhantes de priorização de intervenções em edifícios da Câmara Municipal de Lisboa e de desenvolvimento de um modelo multicritério adaptado a um programa de manutenção preditiva, foi possível verificar que o uso de instrumentos de MCDA é adequado para o desenvolvimento de uma metodologia de investigação a aplicar ao problema em estudo. A análise metodológica proposta para o estudo do problema de priorização de intervenções sobre os ativos da EDP Distribuição, tem em conta a existência de um problema multicritério, envolvendo objetivos complexos, razão pela qual é adequada a utilização de metodologia de análise de decisão. Posto isto, a abordagem MACBETH parece ser a mais adequada para determinar uma pontuação multicritério de prioridade de ativos, tal como a utilização do sistema PROBE para a agregação dos ativos a interencionar, em portefólios.

Os modelos encontrados ajustam-se ao problema identificado, uma vez que apresentam vantagens para uma análise consistente dos ativos em estudo. Partindo do desenvolvimento de um mapa cognitivo para o problema em questão, torna-se mais simples a perceção de todos os componentes que constituem o problema, assim como a tarefa de tomada de decisão.

No capítulo seguinte propõe-se um modelo que considerando um conjunto de regras e critérios, recorra aos resultados de um modelo de avaliação multicritério para a análise e priorização dos transformadores de média/baixa tensão, tendo em conta os benefícios, custos e riscos associados, permitindo obter uma priorização dos ativos a intervir de acordo com os critérios definidos, assim como a sua agregação em portefólios.

4 Metodologia Proposta

4.1 Construção do Modelo

Neste capítulo descreve-se a metodologia proposta para abordar o problema em estudo, tendo por base a literatura revista no capítulo anterior.

Esta metodologia tem três momentos: o momento inicial consiste na construção de um mapa causal sobre o problema em questão (ver Anexo 1). A partir da análise do mapa causal é possível perceber os principais constituintes do problema em estudo, permitindo obter uma visão geral do problema. O segundo momento passa pelo desenvolvimento de um modelo de avaliação multicritério, uma vez que este permite a avaliação das potenciais intervenções tendo em consideração múltiplos critérios identificados a partir do mapa causal. Os critérios devem ser consensuais, operacionais, exaustivos e não-redundantes. O último momento consiste na realização de uma análise de portefólios efetuada ao conjunto de ativos a serem intervencionados, de forma a ser escolhido o portefólio ótimo tendo em conta o orçamento disponível para tal da EDP Distribuição.

A abordagem MACBETH será utilizada para construir o modelo de valor, ou seja, para construir as funções de valor de cada um dos critérios e para apurar os pesos de cada um. Após a validação do modelo, o modelo de agregação de valor aditivo pode então ser aplicado para associar uma pontuação global, neste caso um índice de prioridade de intervenção a cada ativo.

O objetivo da metodologia proposta consiste na definição de um índice de prioridade relativamente às intervenções a serem realizadas, no entanto, o mesmo índice não irá definir a priorização das mesmas intervenções, uma vez que na última fase da metodologia proposta será então identificado o portefólio ótimo que maximiza a soma dos índices de prioridade relativamente a cada intervenção a ser levada a cabo sobre os transformadores MT/BT da EDP Distribuição. A metodologia proposta procura reduzir os custos globais associados ao processo de intervenção sobre os transformadores de média/baixa tensão da EDP Distribuição, assim como alocar da melhor forma possível os recursos disponíveis por parte da empresa para uma boa gestão e intervenção sobre estes ativos.

4.2 Agregação dos Ativos a Intervir em Portefólios

Após a construção do modelo de avaliação multicritério que permita identificar os índices de prioridade relativamente a cada intervenção a ser realizada sobre os transformadores de média/baixa tensão, será realizada uma agregação de intervenções a realizar, em portefólio, de modo a maximizar o valor global de benefício multicritério sujeito a restrições orçamentais por parte da empresa. Eventuais restrições complementares e/ou sinergias (positivas ou negativas) nos benefícios e/ou nos custos também devem ser contempladas para o apuramento do portefólio eficiente de ativos.

4.3 Modelo de Avaliação Multicritério

4.3.1 Introdução

O primeiro passo para a aplicação de uma metodologia multicritério de apoio à decisão, consiste na identificação dos critérios de avaliação para o problema em estudo. Seguidamente, a cada um dos critérios definidos é necessário associar um descritor de desempenho.

Os próximos subcapítulos descrevem as diferentes etapas de construção do modelo de avaliação para a priorização dos ativos da EDP Distribuição:

- estruturação dos aspetos fundamentais do problema e criação da árvore de valor, com os respetivos critérios.
- Construção dos descritores de desempenho, e respetiva operacionalização dos critérios de avaliação.
- Formulação das funções de valor para cada critério, através do preenchimento das matrizes de julgamento baseada em juízos qualitativos por parte do decisor.
- Avaliação do desempenho das alternativas em cada um dos critérios.

4.3.2 Processo Sociotécnico

Este processo procura integrar as necessidades dos decisores, uma componente mais social, com as metodologias de avaliação multicritério e de estruturação de problemas, correspondente à componente teórica, nomeadamente pela metodologia multicritério em questão, a metodologia MACBETH. Posto isto, o referido processo pretende analisar quem deve participar no processo de tomada de decisão, assim como a ferramenta de apoio mais útil como suporte do respetivo contributo.

O processo sociotécnico tem como objetivo incorporar as necessidades dos decisores, a componente social, com as metodologias multicritério aplicadas pela área de análise de decisão, a componente técnica, nomeadamente a metodologia multicritério aplicada, MACBETH.

A componente social do processo de tomada de decisão tem a ver com a identificação e seleção dos intervenientes a participar no desenvolvimento do modelo assim como as respetivas funções (Schein, 1999). Cabe ao facilitador considerar os *stakeholders* e restantes intervenientes a serem envolvidos no processo, assim como o seu nível de participação no mesmo (Deeks, 2005).

Quanto à componente técnica do processo de toma de decisão, a metodologia deverá ser a mais atrativa possível de modo a que os decisores se demostrem disponíveis e estimulados a participarem nas sessões de discussão. Este tipo de metodologia deve ser aplicado através de conferências de decisão organizadas de modo a que as preferências demonstradas pelos participantes, sejam discutidas, compreendidas e integradas no modelo, com o intuito de poderem ser melhor aceites por todos os participantes do processo, proporcionando a aprendizagem coletiva assim como a geração de novas ideias (Bana e Costa et al., 2001).

A metodologia MACBETH permite a aprendizagem em grupo, criando uma interatividade entre o grupo de decisores e os facilitadores, e promove o confronto de preferências intuitivas com os resultados dos métodos analíticos, partindo do princípio de que o problema e a solução pertencem

apenas ao decisor, cabendo ao facilitador o papel de condução do processo e não do conteúdo do mesmo (Bana e Costa et al., 2005).

Na Tabela 31 é ilustrado o processo sociotécnico que permite a elaboração do modelo para identificação e priorização dos ativos a intervir.

Tabela 31 - Processo Sociotécnico, adaptado de Schein (1999)

PROCESSO SÓCIO-TÉCNICO	
Componente Técnica	Componente Social
<p>1. Estruturação do Modelo 1.1 Definição dos objetivos do modelo 1.2 Conceção do processo sócio-técnico 1.3 Contexto da avaliação</p> <hr/> <p>2. Identificação do conjunto de ativos a serem avaliados</p> <hr/> <p>3. Identificação dos objetivos e critérios de avaliação 3.1 Identificação das áreas de preocupação 3.2 Definição dos critérios de avaliação e dos respetivos descritores de desempenho</p> <hr/> <p>4. Identificação dos objetivos e critérios de avaliação 4.1 Identificação das áreas de preocupação</p> <p>5. Definição dos critérios de avaliação e dos respetivos descritores de desempenho</p> <hr/> <p>6. Pontuação a) Avaliação da performance dos ativos em cada critério b) Avaliação do valor de atratividade dos ativos em cada critério 6.1 Descrição das consequências dos ativos 6.2 Pontuação dos ativos em cada critério 6.3 Verificação das consistências das pontuações em cada critério</p> <hr/> <p>7. Ponderação a) Determinação dos coeficientes de ponderação de cada critério de avaliação</p> <hr/> <p>8. Combinação dos pesos e das pontuações para a determinação do valor global da opção 8.1 Determinação do valor parcial em cada nível na hierarquia do modelo 8.2 Determinação do valor Global</p> <hr/> <p>9. Análise dos Resultados Obtidos</p> <hr/> <p>10. Análise de Sensibilidade 10.1 Realização de análises de sensibilidade 10.2 Vantagens e desvantagens dos ativos selecionadas e comparação entre si</p>	<p>Todas as fases referentes à componente técnica, foram levadas a cabo segundo a realização de conferências de decisão com o grupo de decisores. Estas conferências foram realizadas com uma periodicidade quinzenal, de modo a discutir o ponto de situação de desenvolvimento da dissertação, e delineando os próximos passos da mesma. A presença diária do autor deste trabalho junto do grupo de decisores, no âmbito do estágio curricular realizado no projeto JUMP, facilitou bastante o desenvolvimento do processo.</p>

4.3.3 Estruturação do Problema e do Modelo

O método mais comum para a estruturação de um problema consiste na definição das diferentes opções e na conseqüente análise das suas características, de modo a determinar quais são as características relevantes para o decisor (Bana e Costa et al., 2012). No entanto, uma abordagem centrada nos valores (Keeney, 1992) permite ter uma visão mais abrangente do problema, pois não se reduz à simples análise das opções, mas sim aos objetivos que os decisores pretendem alcançar.

A primeira etapa na estruturação do modelo a ser desenvolvido, consiste no estabelecimento de objetivos e preocupações que a EDP Distribuição considera importantes para a análise do estado dos

ativos em estudo, com o intuito de identificar as áreas de preocupação assim como os critérios a serem analisados. Um critério é um fim em si mesmo, caracterizado por um valor fundamental, que deve ser definido pelos seguintes atributos:

- Inteligível: o critério deve ser claro de maneira a não proporcionar possíveis falhas de comunicação entre o facilitador e o decisor.
- Consensual: o critério deve ser aceite por todo o grupo de decisores como suficientemente importante para poder influenciar a decisão e ser tomado em conta no modelo.
- Isolável: o critério é isolável se for possível avaliar as ações segundo este critério, independentemente do desempenho nos outros critérios.
- Operacional: para que um critério seja operacional, deve permitir a existência de uma escala de preferência local associada aos níveis de desempenho desse critério e possibilitar a construção de um descritor de desempenho.

Se o critério cobrir todo este conjunto de propriedade referidas, cobre também os objetivos principais da decisão. Para uma dada família de critérios é necessário que este conjunto satisfaça as seguintes condições:

- Exaustividade: deve ter em consideração todos os aspetos fundamentais para a avaliação.
- Decomponibilidade: uma família de critérios não pode apresentar relações de dependência preferencial entre si.
- Minimalidade: o número de critérios a utilizar na avaliação deve ser o mais reduzido possível.
- Consensualidade e Inteligibilidade: à semelhança de um critério, também a família de critérios tem que ser consensual e inteligível.

Estes são denominados de critérios, e a sua estruturação será efetuada com a ajuda de um grupo estratégico pertencente à EDP Distribuição, através de um questionário ou de uma entrevista direta ao grupo.

Após a definição das áreas de interesse e dos critérios é possível a criação da árvore de valor para o problema analisado, utilizando a metodologia MACBETH, cuja estrutura da metodologia é descrita na Figura 13, sendo esta construída pelo facilitador em conjunto com os decisores.

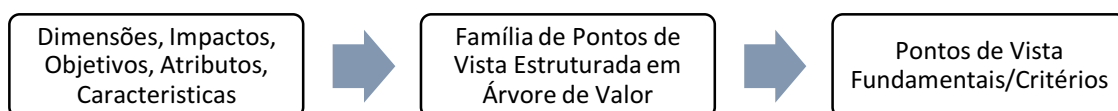


Figura 13 - Estrutura da Metodologia Multicritério (adaptado de Bana e Costa et al., 2011)

Existem dois métodos distintos para a construção de árvores de valor: o método *Top-Down* e *Bottom-Up*. Relativamente ao primeiro método, este baseia-se na construção de uma árvore através da desagregação de critérios, isto é, a árvore é construída considerando se os critérios já escolhidos encerram mais componentes. O método *Bottom-Up* consiste na construção da árvore de valor tendo em conta a possibilidade de um determinado critério ser uma componente de um outro mais geral. Para

testar se a árvore de valor está completa, são avaliadas duas hipóteses. Caso estas sejam indiferentes em todos os critérios identificados procura-se saber se há alguma razão para classificar globalmente uma melhor que a outra, e caso isto se verifique então a árvore de valor não está completa (Bana e Costa e Beinat, 2005).

Uma vez que a árvore de valor constitui uma parte importante na estruturação do problema, é importante que esta se verifique robusta, concisa e completa, sendo aconselhado ao facilitador que partilhe a sua análise com o grupo de decisores a fim de verificar o trabalho realizado, percebendo se os critérios escolhidos pelo grupo se revelam de facto importantes para o desenvolvimento da metodologia, evitando a sua possível repetição. Os critérios devem ser independentes entre si, uma vez que por vezes o desempenho num critério influencia a avaliação que é dada pelo decisor num outro critério. Caso esta situação ocorra, é necessária uma reestruturação do modelo por forma a criar interdependência na preferência ao nível dos critérios (Bana e Costa e Beinat, 2005).

4.3.4 Descritores de Desempenho

Posteriormente à identificação dos critérios de avaliação, é necessário associar, a cada um deles, um descritor de desempenho, sendo estes definidos por um conjunto ordenado de níveis de desempenho. Estes descritores podem ser de diversos tipos: quantitativos (numéricos), qualitativos (expressões) ou pictóricos (representações visuais). Podem também ser discretos (representados por um conjunto finito de níveis de desempenho) ou contínuos (representados por uma função contínua). Dividem-se ainda em diretos (diretamente relacionável com os critérios), indiretos ou construídos (critérios mais complexos, que necessitam de uma escala característica) (Bana e Costa et al., 2012). Na escolha de um descritor de desempenho é necessário ter conta que um descritor do tipo quantitativo é sempre preferível a um descritor qualitativo, um descritor contínuo é melhor que um discreto e caso exista um descritor direto este deve ser escolhido (Bana e Costa e Beinat, 2005).

Os descritores de desempenho correspondem a níveis de impacto de cada um dos critérios definidos, permitindo assim avaliar a atratividade do desempenho das opções em estudo em cada um dos critérios. Os níveis de desempenho definidos para cada descritor devem ser genéricos e consistentes, permitindo uma fácil comparação entre critérios. Este processo de criação do descritor deverá resultar de um trabalho conjunto entre o facilitador e o grupo de decisores, podendo por vezes levar a uma revisão da árvore de valor criada anteriormente e o respetivo acréscimo ou remoção de critérios.

Por vezes não é possível aplicar o descritor genérico a todos os critérios existentes uma vez que as metas de todos os critérios poderão não estar devidamente explícitas. Nestes casos, o descritor genérico deverá ser de tal modo definido que permita a sua adaptação a este tipo de critérios.

Durante o processo de estruturação devem ser identificados dois níveis distintos de referência como já havia sido referido anteriormente: um nível “Neutro” de pontuação zero, e um nível “Bom” com 100 pontos. Desta forma são definidas duas referências, de modo a facilitar os julgamentos do decisor na etapa que se segue, a construção de escalas de valor. Esta definição de valores de referência é também importante para a realização de uma adequada ponderação de critérios.

4.3.5 Funções de Valor

O objetivo de uma função de valor é transformar desempenho em valor, ou seja, a construção de uma função de valor para cada um dos critérios definidos, permite a percepção das diferenças de atratividade dos níveis definidos em cada descritor anteriormente, fazendo assim a correspondência entre uma mudança de desempenho e o aumento ou diminuição de valor para essa alteração (Bana e Costa, 2010).

São várias as técnicas existentes para a obtenção deste tipo de funções de valor, sejam elas numéricas ou não-numéricas. Das técnicas numéricas, as mais importantes são:

- Pontuação Direta (*Direct Rating*) (Edwards, 1977): é colocada uma escala ao decisor, tendo este de indicar quantitativamente o valor de diferenças de atratividade para cada nível do descritor em questão.
- Método da Bissecção (*Bisection Technique*) (von Winterfeldt e Edwards, 1986): são encontrados dois níveis no descritor que representam, um desempenho atrativo e outro pouco atrativo, consistindo esta técnica na procura sucessiva de um nível intermédio de atratividade que esteja equidistante dos dois níveis extremos já encontrados, continuando este processo até ser obtida a função de valor.

Relativamente às técnicas não-numéricas destaca-se o MACBETH (Bana e Costa et al., 2012). Esta consiste num método iterativo que tem por base juízos qualitativos definidos pelo grupo de decisores, por forma a ser construída uma função de valor. O decisor formula juízos de valor qualitativos a cerca das diferenças de atratividade entre os níveis de desempenho dos descritores, dois a dois, sendo os juízos de valor efetuados implementados numa matriz do *software*, denominada matriz de julgamentos (Bana e Costa, 2010). Para tal, são utilizadas seis categorias semânticas distintas: Nula, Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte, Muito Forte e Extrema.

Após o preenchimento da matriz no *software*, este verifica a consistência dos julgamentos fornecendo posteriormente uma escala de valor, tendo em conta os níveis de desempenho que foram escolhidos como “Neutro” (0 pontos) e “Bom” (100 pontos). A escala de valor fornecida pode ser corrigida e ajustada pelo decisor, sem comprometer os juízos já realizados (Bana e Costa, 2010).

Para a presente dissertação, o método escolhido para o desenvolvimento de funções de valor foi o método não-numérico, MACBETH, que apresenta algumas vantagens relativamente aos métodos numéricos uma vez que facilita o trabalho do decisor ao serem efetuados julgamentos qualitativos de diferença de atratividade, ao invés de juízos quantitativos.

4.3.6 Coeficientes de Ponderação

Os coeficientes de ponderação constituem fatores de escala, isto é, correspondem aos pesos que são atribuídos a cada um dos critérios definidos. Estes representam o contributo (valor) de cada critério para a pontuação global, o que permite transformar cada unidade de valor parcial em unidades de valor global (Bana e Costa et al., 2011).

Para a determinação dos coeficientes de ponderação é necessário considerar os níveis de desempenho de referência de cada critério. Estes níveis de desempenho são essenciais para a

obtenção dos coeficientes de ponderação. A não inclusão destes revela-se o erro mais comum no cálculo dos coeficientes de ponderação (Keeney, 1992).

Assim como para a criação de funções de valor, também para o cálculo dos coeficientes de ponderação podem ser utilizados métodos numéricos e não numéricos. Dos métodos numéricos destacam-se:

- Swing Weighting (Edwards e Barron, 1994): divide-se em três etapas – a) ordenação dos coeficientes de ponderação dos critérios, através de julgamentos do decisor sobre qual o critério que privilegiaria passar em primeiro lugar do nível inferior de referência para o nível superior de referência; b) quantificação dos *swings*, determinando qual é a percentagem do incremento do nível inferior de referência para o nível superior de referência num critério relativamente ao mesmo swing mais privilegiado pelo decisor, sendo este processo repetido sucessivamente até se obter uma percentagem para todos os critérios; c) normalização dos valores/percentagens obtidas para que a sua soma seja igual à unidade.
- Trade-off Procedure (Keeney e Raiffa, 1976): comparação de duas alternativas fictícias que sejam distintas apenas na avaliação de dois critérios de cada vez, isto é, apresentam o mesmo desempenho nos restantes critérios. A escolha de uma das alternativas fictícias por parte do decisor permite ao facilitador avaliar qual dos critérios possui maior coeficiente de ponderação. O critério com maior peso serve normalmente como critério de referência, sendo então necessário para este método conhecer a função de valor do critério que servirá de referência. O *trade-off* consiste em ajustar o nível de desempenho de uma das alternativas no critério de referência, de forma a ser possível obter uma relação de indiferença entre ambas as alternativas, criando assim um sistema de equações, onde será possível quantificar os pesos dos critérios.

Relativamente aos métodos não-numéricos, o método MACBETH (que será o utilizado) apresenta algumas vantagens relativamente às alternativas referidas anteriormente. Deste modo, a determinação dos pesos dos critérios é efetuada fazendo uso dos juízos qualitativos de diferença de atratividade entre desempenhos, comparando dois critérios de cada vez. Posteriormente, esses juízos são colocados numa matriz de julgamentos.

Para o caso em estudo, os juízos de valor serão efetuados por um grupo de decisores da EDP Distribuição. Este grupo irá comparar as diferenças de atratividade entre as possíveis passagens dos níveis de desempenho (*swings*) entre os níveis de referência de cada critério. Após a construção da matriz de julgamentos, o *software* M-MACBETH irá calcular e apresentar os coeficientes de ponderação normalizados, podendo estes ser ajustados pelo grupo decisor desde que não afetem a consistência dos julgamentos fornecidos.

4.4 Análise de Portefólios

O modelo multicritério anteriormente descrito, permitirá calcular o valor global das potenciais intervenções a serem levadas a cabo, relativamente a cada um dos ativos considerados. Contudo, para o desenvolvimento do modelo de priorização de intervenções a que se propõem esta investigação,

surge a necessidade de considerar uma restrição bastante importante enfrentada pelas empresas: o orçamento disponível. Tendo então em conta os valores globais obtidos pelo modelo multicritério assim como os custos de cada intervenção, são analisados através do rácio benefício/custo, os portefólios eficientes de projetos, de modo a que seja selecionado aquele que maximize o valor multicritério obtido assim como que permita uma utilização melhor possível do orçamento disponível para tal. Deste modo, é então realizada uma análise de portefólios, recorrendo ao *software* PROBE (*Portfolio Robustness Evaluation*).

4.5 Conclusões do Capítulo

No presente capítulo verificou-se que para avaliar a priorização de intervenções a levar a cabo sobre os ativos de média/baixa tensão da EDP Distribuição, é necessário recorrer a uma metodologia que agregue valor de modo a permitir calcular o valor global associado a cada uma das potenciais intervenções. Das diversas abordagens multicritério existentes de apoio à decisão, das quais foi realizada uma revisão bibliográfica no capítulo anterior, a Metodologia de Apoio à Decisão (MMAD) é considerada a mais robusta para a presente dissertação, uma vez que permite avaliar as alternativas existentes com base em critérios definidos, baseando-se para tal em julgamentos qualitativos dos decisores. O sistema de apoio à decisão, M-MACBETH, que implementa o método MACBETH, permite também a realização de complexas análises de sensibilidade e robustez, facto que contribui também para a escolha da mesma abordagem.

Posteriormente, tendo em conta os valores globais de cada alternativa obtidos a partir do modelo multicritério, serão então considerados os custos associados às mesmas, sendo realizada uma análise de portefólios de modo a ser escolhido aquele que apresente o maior valor multicritério tendo em conta o orçamento disponível pela empresa.

5 Metodologia Aplicada

No presente capítulo, aplica-se a metodologia proposta no capítulo anterior. Na construção do modelo, contou-se com a participação de dois peritos da EDP Distribuição, que estiveram envolvidos em todas as fases de estruturação e avaliação do modelo multicritério.

Na fase inicial deste capítulo serão apresentados os intervenientes do processo. Posteriormente, são descritas as etapas seguintes para a estruturação e desenvolvimento do modelo de priorização de intervenções sobre os transformadores de média/baixa tensão, tais como a estruturação do problema em árvore de valor, associação de um descritor de desempenho a cada critério de avaliação, formulação das funções de valor e classificação do desempenho das alternativas. Por último, será realizada uma análise de portfólios de ativos a serem intervencionados, tendo em conta o orçamento disponível para a EDP Distribuição.

5.1 Introdução

Para a aplicação da metodologia multicritério descrita, é necessário numa fase inicial proceder à identificação e definição dos critérios de avaliação, e associar a cada um destes, os respetivos descritores de desempenho. Para tal, através de reuniões com os decisores, foi realizada uma análise ao conjunto de critérios definidos pelos mesmos, assim como quais poderiam ser os possíveis descritores, bem como os possíveis níveis de referência de desempenho (bom e neutro) em cada um dos critérios definidos.

Para a definição dos descritores de desempenho, foram utilizados dados e informações definidas pela EDP Distribuição para cada um dos critérios, de modo a recolher dados para a construção dos descritores de desempenho.

O sistema selecionado terá de permitir uma melhor e mais eficaz gestão dos ativos de média/baixa tensão, sempre com o intuito de tirar o máximo partido do seu valor de modo a criar valor acrescentado para os diferentes *stakeholders* (empresa, acionistas, comunidade, colaboradores).

Foi partindo deste princípio que se procurou o desenvolvimento de um modelo multicritério para o problema analisado nesta dissertação.

5.2 Grupo de Decisores

Com o intuito de representar os pontos de vista da EDP Distribuição, foi escolhido um grupo de decisores composto por dois colaboradores da Empresa, mais concretamente do projeto JUMP. O grupo de decisores é composto pelo Engenheiro Jorge Gomes, pertencente à unidade de gestão de ativos da EDPD, e pela Engenheira Cristina Carvalho, da unidade de programação, controlo e apoio à gestão da EDPD. Ambos os elementos do grupo decisor estão atualmente ligados ao projeto JUMP, para a gestão de ativos da EDP Distribuição. Em reuniões levadas a cabo com o grupo de decisores definido, foram esclarecidos diversos pontos constituintes do modelo a ser desenvolvido, pontos estes que serão descritos posteriormente.

5.3 Construção do Modelo

De modo a tornar o modelo proposto operacional, são seguidas várias etapas que não dispõem uma ordem explícita necessária. As etapas descritas consistem em:

- Construção da árvore de valor do modelo – definição dos objetivos e critérios do modelo;
- Operacionalização dos critérios de avaliação – associação a cada um dos critérios, de um descritor de desempenho;
- Construção das funções de valor – avaliação dos níveis de desempenho em cada um dos critérios definidos;
- Determinação dos pesos dos critérios – ponderação de cada critério, para os diferentes níveis da estrutura hierárquica.

Posteriormente, será então possível apurar para cada uma das alternativas, o seu valor global, tendo em conta o conjunto de critérios definidos para o modelo assim como os juízos de valor expressos pelos decisores.

5.4 Definição dos Critérios e Construção da Árvore de Valor

A fase inicial de estruturação e construção da árvore de valor, é de extrema importância uma vez que é a base para todo o modelo construído posteriormente.

Após a definição do conjunto de critérios e dos respetivos descritores, foi então utilizado o *software* M-MACBETH de forma a organizar o mesmo conjunto em áreas de preocupação, através de uma árvore de valor (ver Figura 14). Na árvore de valor apresentada, existem dois tipos de nós: nós critério e nós não critério. Estes últimos (nós não critério) representam as áreas de preocupação definidas para o modelo, e apresentam-se na árvore de valor como os critérios escritos a preto, à exceção do nó raiz – Valor Global de Intervenções em ativos da EDPD (valor global). A vermelho, encontram-se os nós critério, isto é, os nós cujos critérios irão ser utilizados para a avaliação das intervenções sobre os ativos da EDP Distribuição.

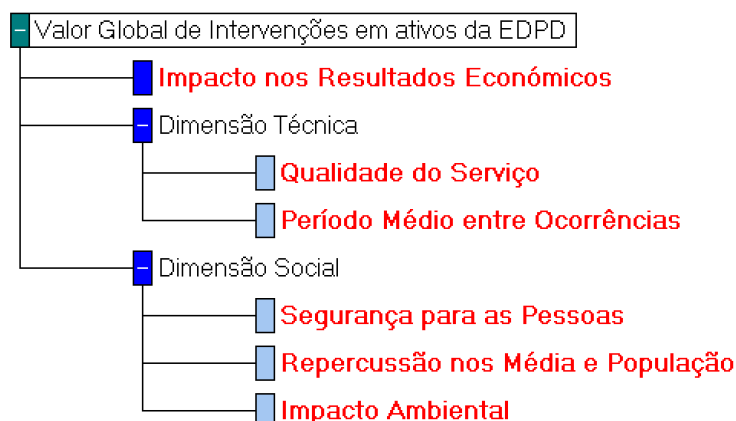


Figura 14 - Árvore de valor correspondente ao modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD

Os critérios definidos para o modelo foram os seguintes:

- Impacto nos resultados económicos – na medida em que se procura que a redução provocada nos resultados económicos da empresa seja tanto menor quanto possível, diminuição essa provocada por menores-valias devido a perdas do seu imobilizado e/ou a custos necessários para repor a situação num momento anterior à ocorrência de um determinado evento, e/ou proveitos que se deixaram de receber;
- Qualidade do serviço – na medida em que o tempo de interrupção do serviço prestado pela EDPD, deverá ser o mais reduzido possível, aquando de situações de responsabilidade interna à EDPD. Qualquer situação de responsabilidade externa à EDPD é excluída;
- Período médio entre ocorrências – na medida em que objetivo consiste em que diminuir a frequência de ocorrências num intervalo de tempo, de um determinado evento;
- Segurança para as pessoas – na medida em que o pretendido é que caso ocorra um determinado evento, a segurança para as pessoas afetadas seja tanto maior quanto possível, evitando situações potencialmente perigosas para a saúde das mesmas;
- Repercussão nos media e população – na medida em que esta pode afetar a reputação/imagem da empresa, procurando-se reduzir a população/área com conhecimento de um dado evento e a possibilidade/extensão de uma possível cobertura mediática;
- Impacto ambiental – na medida em que o grau de danos sofridos pelo meio ambiente atingido por um dado evento, tendo em conta fatores como a dimensão, quantidade e tempo para a extinção do evento ocorrido, deverá ser o menor possível.

Como referido na secção 4.3.3, um critério de avaliação é caracterizado por alguns atributos de forma a revelar-se consensual, isolável, operacional e inteligível, ao passo que o conjunto de critérios de avaliação definidos para o modelo deverá ser exaustivo, não redundante, conciso, decomponível e consensual. Os critérios apresentados na Tabela 32 apresentam todas as propriedades referidas. Todos os critérios de avaliação considerados para a construção do modelo, encontram-se representados na Tabela 32, assim como os respetivos descritores de desempenho.

Tabela 32 - Critérios de avaliação e respetivos descritores de desempenho

Critério de Avaliação	Descritor de Desempenho	Descrição
	R	
Resultados Económicos (RE)	Desempenho que a realização da potencial intervenção representa, ou seja, a intervenção num ativo que pode originar resultados económicos no valor de 4 500, vai ter a pontuação mais elevada (pois representa uma intervenção muito relevante) e uma intervenção num ativo de resultados económicos 250 terá 0 pontos.	É determinado por análise do histórico de ocorrências anteriores semelhantes, ou, na sua ausência, por perceção/estimativa. Unidade: €

(continua)

Tabela 32 - Critérios de avaliação e respectivos descritores de desempenho (continuação)

Critério de Avaliação	Descritor de Desempenho	Descrição
Qualidade do Serviço (QS)	TIEPI	É estimado em função da potência interrompida simulada em DPLAN, assim como da duração da reposição do fornecimento de serviços, tendo por base situações anteriores semelhantes ou, na sua ausência, avaliado a partir de situações existentes mais próximas Unidade: minutos
	Desempenho que a realização da potencial intervenção representa, ou seja, a intervenção num ativo cujo TIEPI é 3, vai ter a pontuação mais elevada (pois representa uma intervenção muito relevante) e uma intervenção num ativo de TIEPI 0.17 terá 0 pontos.	
Período Médio entre Ocorrências (PMO)	F Um ativo com F = 0.5 terá pontuação 100, e para F = 5 a pontuação será 0.	É calculado tendo em conta a frequência verificada entre dois acontecimentos consecutivos.
Segurança para as Pessoas (SP)	Pode causar Morte ou Incapacidade Permanente	Grau do estado de saúde das pessoas potencialmente atingidas pela ocorrência em causa. Quanto mais grave, em termos de saúde, for o nível de desempenho, maior a pontuação atribuída dado a necessidade de intervenção sobre o ativo.
	Pode necessitar de Internamento Hospitalar	
	Pode necessitar de Tratamento Médico	
	Pode necessitar de Primeiros Socorros Sem impacto	
Repercussão nos Média e População (RMP)	Potencial repercussão nos média a nível Internacional	População/área com conhecimento da situação e possibilidade de cobertura mediática. Quanto mais grave, em termos de potencial repercussão, for o nível de desempenho, maior a pontuação atribuída dado a necessidade de intervenção sobre o ativo.
	Potencial repercussão nos média a nível Nacional	
	Potencial repercussão nos média a nível Regional	
	Potencial repercussão nos média a nível Local	
	Sem impacto externo ao Grupo	
Ambiente (AMB)	Pode causar danos significativos durante mais de 5 anos	Grau dos danos sofridos pelo meio ambiente considerando a possibilidade de este ser afetado por determinada ocorrência, tendo em conta as dimensões, quantidade das mesmas e o tempo necessário para a sua extinção. Quanto mais grave, em termos de danos potenciais sobre o ambiente, for o nível de desempenho, maior a pontuação atribuída dado a necessidade de intervenção sobre o ativo.
	Pode causar danos significativos entre 3 a 5 anos, inclusive	
	Pode causar danos significativos entre 1 a 3 anos, inclusive	
	Pode causar danos pequenos durante mais de 5 anos	
	Pode causar danos pequenos entre 3 a 5 anos, inclusive	
	Pode causar danos pequenos entre 1 a 3 anos, inclusive	
Sem impacto relevante		

5.5 Descritores de Referência e Níveis de Desempenho

A segunda etapa no desenvolvimento do modelo multicritério, consistiu na operacionalização dos critérios através da construção dos descritores de referência associados aos mesmos. Tal como descrito na secção 4.3.4, o descritor associado a um critério será uma escala de níveis de desempenho ordenados por um determinado indicador relacionado com o critério. O processo de determinação, validação e ajuste dos descritores de desempenho para cada um dos critérios, foi realizado juntamente com o grupo de decisores da EDP Distribuição.

Para cada um dos descritores foram definidos dois níveis de referência: o nível de desempenho “100 Pontos” (indicado a verde) corresponde à e o nível de desempenho “0 Pontos” (indicado a azul). Estes níveis correspondem ao desempenho que a potencial intervenção no ativo representa. Ao nível “100 Pontos” corresponde o desempenho esperado após realização da intervenção sobre o ativo que representa, ao passo que ao nível “0 Pontos” corresponde o desempenho que não é acrescentado por não ser realizada a intervenção sobre o referido ativo, ou seja, o nível “neutro” corresponde a ausência de valor relativamente ao desempenho que a intervenção no ativo representa. Tanto os descritores de desempenho como os respetivos níveis de referência foram analisados e validados com o grupo de decisores da EDP Distribuição.

Tabela 33 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Resultados Económicos

Nível de Desempenho (Quantitativo)	
Nível Superior	R = 4 500
Nível Inferior	R = 250

Tabela 34 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Qualidade do Serviço

Nível de Desempenho (Quantitativo)	
Nível Superior	TIEPI = 3
Nível Inferior	TIEPI = 0.17

Tabela 35 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Período Médio entre Ocorrências

Nível de Desempenho (Quantitativo)	
Nível Superior	F = 0.5
Nível Inferior	F = 5

Tabela 36 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Segurança para as Pessoas

Nível de Desempenho (Qualitativo)	
Nível Superior - IM	Pode causar Morte ou Incapacidade Permanente
TH	Pode necessitar de Internamento Hospitalar
TM	Pode necessitar de Tratamento Médico
PS	Pode necessitar de Primeiros Socorros
Nível Inferior - SI	Sem impacto

Tabela 37 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Repercussão nos Média e População

Nível de Desempenho (Qualitativo)	
Nível Superior - NI	Potencial repercussão nos média a nível internacional
NN	Potencial repercussão nos média a nível nacional
NR	Potencial repercussão nos média a nível regional
NL	Potencial repercussão nos média a nível local
Nível Inferior - SI	Sem impacto externo ao grupo

Tabela 38 - Níveis de desempenho do descritor no critério de avaliação Ambiente

Nível de Desempenho (Qualitativo)	
Nível Superior - DS+5	Pode causar danos significativos durante mais de 5 anos
DS3-5	Pode causar danos significativos entre 3 a 5 anos, inclusive
DS1-3	Pode causar danos significativos entre 1 a 3 anos, inclusive
DP+5	Pode causar danos pequenos durante mais de 5 anos
DP3-5	Pode causar danos pequenos entre 3 a 5 anos, inclusive
DP1-3	Pode causar danos pequenos entre 1 a 3 anos, inclusive
Nível Inferior - SI	Sem impacto relevante

O impacto ambiental é definido pelas características verificadas do transformador, isto é, pelo dielétrico utilizado:

- Óleo com PCB's – Impacto Muito Elevado
- Óleo Mineral – Impacto Alto
- Óleo Vegetal – Impacto Moderado
- Seco – Impacto Baixo (“Sem Impacto”)

Os níveis de desempenho estabelecidos anteriormente, permitem facilitar a construção das funções de valor dos critérios, sendo necessários os níveis de referência “bom” e “neutro” para a ponderação dos critérios.

5.6 Funções de Valor

Para o desenvolvimento do modelo multicritério, o passo seguinte consiste na construção de funções de valor para cada um dos critérios definidos anteriormente, recorrendo para tal ao *software* M-MACBETH com base nos julgamentos expressos pelo grupo de decisores relativamente às diferenças de atratividade entre cada dois níveis de desempenho para cada um dos critérios. Aos níveis de referência “Superior” e “Inferior” foram respetivamente atribuídos os valores 100 e zero, sendo particularmente relevante destacar que o zero na escala de valor corresponde efetivamente a ausência de valor, podendo as escalas de valor geradas desta forma serem mais tarde utilizadas na análise de portefólios (Edwards, 1997; Clemen e Smith, 2009). Este procedimento foi realizado através de uma reunião com o grupo de decisores da EDPD, tendo sido pedido ao mesmo grupo que avaliasse qualitativamente a atratividade entre dois níveis de desempenho, utilizando as categorias semânticas MACBETH – Nula, Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte, Muito Forte e Extrema.

Durante a construção da matriz de julgamentos, de modo a preencher a última coluna (comparando o nível inferior com os restantes), a primeira linha (comparando o nível superior com os restantes) e a diagonal, as perguntas foram efetuadas segundo a respetiva ordem. À medida que a matriz de julgamentos era preenchida, o *software* M-MACBETH ia testando a compatibilidade da informação introduzida, de forma a caso se verificasse alguma inconsistência seriam fornecidas sugestões para a correção das mesmas.

Após o preenchimento e validação da matriz de julgamentos, o *software* M-MACBETH sugere uma escala de valor cardinal para cada critério, exibida ao decisor para que este valide as diferenças de pontuações entre níveis de desempenho, e caso necessário, proceda ao seu ajustamento. Posteriormente, é visualizada a mesma escala graficamente permitindo comparar os intervalos entre as pontuações, de forma a que as proporções entre intervalos reflitam corretamente as relações entre as intensidades de preferências do grupo decisor relativamente às diferenças de desempenho.

Considerando o critério “Qualidade do Serviço”, de natureza quantitativa, a matriz de julgamentos e a escala numérica proposta, resultante da construção da função de valor para o mesmo critério através do *software* M-MACBETH, é representada na

Figura 15 e Figura 16, respetivamente.

	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0	Escala atual
3	nula	mt. forte	mt. forte	mt. forte	extrema	extrema	extrema	100.00
2.5		nula	forte	forte	mfort-extr	mfort-extr	mfort-extr	63.98
2			nula	moderada	fort-mfort	mt. forte	mfort-extr	50.00
1.5				nula	forte	forte	mt. forte	40.00
1					nula	moderada	mt. forte	29.99
0.5						nula	forte	20.00
0							nula	0.00

Figura 15 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de impacto do indicador Qualidade do Serviço

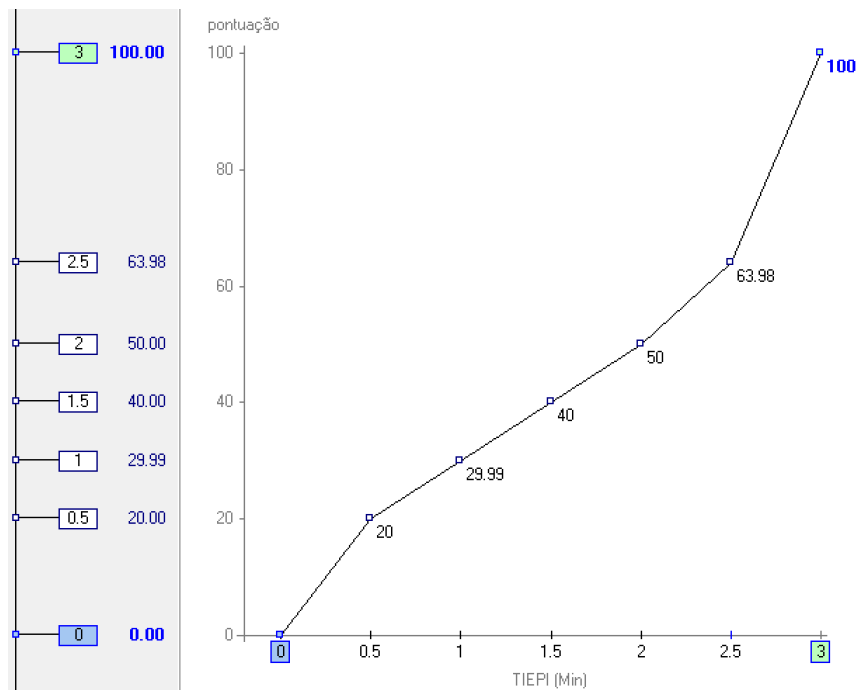


Figura 16 - Função de valor do critério Qualidade do Serviço

Para um descritor de natureza qualitativa, considerando como exemplo o critério “Segurança para as Pessoas”, é também representada a matriz de julgamentos e a respetiva função de valor (discreta), como se mostra na Figura 17 e Figura 18, respetivamente.

Após o correto preenchimento da matriz de julgamentos para os critérios definidos, o *software* propõe uma escala de valor que é apresentada ao grupo de decisores num gráfico “termómetro”. O referido gráfico tem a vantagem de permitir uma melhor perceção das diferenças entre níveis de desempenho, algo que se revela bastante importante para o modelo, possibilitando deste modo aos decisores, caso pretendam, ajustar as diferenças existentes entre os intervalos propostos. No modelo desenvolvido, os decisores concordaram com as funções de valor propostas pelo *software*, não sendo necessário proceder ao seu ajuste.

	IM	TH	TM	PS	SI	Escala atual
IM	nula	mt. forte	extrema	extrema	extrema	100.00
TH		nula	forte	mt. forte	mfort-extr	70.00
TM			nula	forte	fort-mfort	49.99
PS				nula	forte	20.00
SI					nula	0.00

Figura 17 - Matriz de julgamentos MACBETH para o critério Segurança para as Pessoas

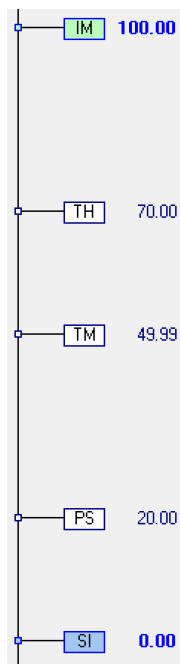


Figura 18 - Escala de valor do critério Segurança para as Pessoas

Os Anexos 2 e 3 apresentam as matrizes de julgamentos e as respectivas escalas de valor para os restantes critérios.

5.7 Coeficientes de Ponderação

Para apurar os coeficientes de ponderação dos critérios definidos, foram, numa primeira fase, ordenados os intervalos superior-inferior dos critérios por ordem decrescente de atratividade. Para tal, foi colocada ao grupo de decisores a seguinte questão: “Se existisse um ativo com nível de desempenho inferior em todos os critérios e fosse possível alterar apenas um dos critérios para nível de desempenho superior, qual seria o critério em que preferiria que ocorresse essa mesma alteração?”. Após a escolha do grupo decisor, era eliminado o critério escolhido, e perguntada novamente a mesma questão, considerando apenas os restantes critérios. Este procedimento foi repetido até ao último critério. De seguida foi possível identificar o nível de relevância para cada intervalo entre os níveis inferior e superior, para o grupo decisor, por ordem decrescente, sendo possível gerar a Tabela 39 para o modelo de valor global de intervenções em ativos de média/baixa tensão da EDPD.

Tabela 39 - Ordenação dos critérios de avaliação

Ordenação decrescente dos intervalos Neutro – Bom dos critérios de avaliação
Segurança para as Pessoas
Impacto Ambiental
Qualidade do Serviço
Período Médio entre Ocorrências
Impacto nos Resultados Económicos
Repercussão nos Média e População

Numa segunda fase, no processo de apuramento dos coeficientes de ponderação, foi preenchida a matriz de julgamentos de ponderação, de acordo com a ordenação indicada anteriormente. Foi pedido ao grupo de decisores que realizasse julgamentos sobre as diferenças de atratividade entre os intervalos inferior e superior de cada critério, utilizando para tal a escala semântica MACBETH, permitindo preencher a coluna situada mais à direita da matriz. Nesta fase, como também foi verificado durante a construção das escalas de valor, o *software* M-MACBETH assinala possíveis inconsistências entre juízos verificadas. Na Figura 19 é apresentada a matriz de julgamentos de ponderação, definida pelo grupo de decisores.

	[SP]	[AMB]	[QS]	[PMD]	[RE]	[RMP]	[tudo inf.]
[SP]	nula	moderada	forte	forte	forte	forte	forte
[AMB]		nula	mod-forte	forte	forte	mod-forte	forte
[QS]			nula	mod-forte	forte	forte	mod-forte
[PMD]				nula	frac-mod	fraca	mod-forte
[RE]					nula	fraca	moderada
[RMP]						nula	frac-mod
[tudo inf.]							nula

Figura 19 - Matriz ponderação MACBETH para o modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD

Posteriormente ao processo de preenchimento da matriz de julgamentos de ponderação, como referido anteriormente, o *software* M-MACBETH sugere uma escala de pesos para os critérios, escala essa representada pelo histograma da Figura 20.

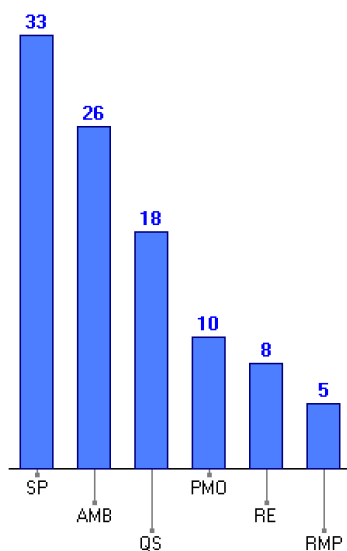


Figura 20 - Histograma com os pesos dos critérios relativo ao modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD

A última fase deste processo de ponderação dos critérios, consistiu na validação dos coeficientes de ponderação obtidos, por parte do grupo decisor. Quando confrontados com o valor dos pesos para cada critério, os decisores concordaram com o peso relativo dos intervalos inferior-superior, atribuído a cada um dos critérios e indicados pelo *software* M-MACBETH.

5.8 Implementação do Modelo Multicritério

Com o intuito de testar o modelo multicritério desenvolvido, foi utilizado o conjunto de ativos de média/baixa tensão, que se encontra descrito no Anexo 4. Foram implementados os 20 ativos existentes a necessitarem de intervenção, no *software* M-MACBETH, assim como o seu desempenho em cada um dos critérios definidos, como representado na Figura 21.

Opções	RE	QS	PMO	SP	RMP	AMB
AT1	1150	0.75	3.8	PS	NL	DP1-3
AT2	2300	1.5	2.6	TM	NR	DP+5
AT3	3400	2.25	1.3	TH	NN	DS1-3
AT4	4500	3	0.9	IM	NI	DS+5
AT5	4500	2.25	0.1	SI	NR	DP1-3
AT6	700	0.75	5	IM	NR	DS1-3
AT7	900	0.01	3.2	IM	SI	SI
AT8	2100	0.01	5	SI	SI	DS+5
AT9	1150	0.01	5	SI	SI	SI
AT10	1150	3	5	SI	SI	SI
AT11	4500	0.01	5	SI	SI	SI
AT12	1300	0.01	0.1	SI	SI	SI
AT13	1150	0.75	3.8	IM	NL	DP1-3
AT14	1150	0.75	3.8	PS	NL	DS+5
AT15	1150	0.75	3.8	PS	NI	DP1-3
AT16	1150	3	3.8	PS	NL	DP1-3
AT17	4500	0.75	3.8	PS	NL	DP1-3
AT18	1150	0.75	0.1	PS	NL	DP1-3
AT19	2300	2.25	1.3	TM	NN	DP3-5
AT20	3400	3	0.9	TH	NN	DS1-3

Figura 21 - Tabela de performances M-MACBETH

Após a implementação das diferentes opções assim como o respetivo desempenho em cada um dos critérios, o *software* M-MACBETH calculou as pontuações correspondentes ao valor de desempenho de cada uma das alternativas nos respetivos critérios de avaliação, assim como o conseqüentemente valor global de cada uma, tal como representado na Tabela 40.

Tabela 40 - Tabela de pontuações das alternativas do modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD

Opções	Desempenho Global do Ativo						
	Global	RE	QS	PMO	SP	RMP	AMB
AT1	18.64	21.8	24.99	22	20	20	10
AT2	43.4	43.79	40	38	49.99	40	40
AT3	62.2	64	59.99	66.8	70	70	50
AT4	98.4	100	100	83.99	100	100	100
AT5	35	100	59.99	116.01	0	40	10
AT6	53.57	13.4	24.99	0	100	40	50
AT7	37.31	18	0.4	28	100	0	0
AT8	29.32	40.6	0.4	0	0	0	100
AT9	1.82	21.8	0.4	0	0	0	0
AT10	19.74	21.8	100	0	0	0	0

(continua)

Tabela 40 - Tabela de pontuações das alternativas do modelo de valor global de intervenções em ativos da EDPD (continuação)

Desempenho Global do Ativo							
Opções	Global	RE	QS	PMO	SP	RMP	AMB
AT11	8.07	100	0.4	0	0	0	0
AT12	13.58	23.8	0.4	116.01	0	0	0
AT13	45.04	21.8	24.99	22	100	20	10
AT14	42,04	21,8	24,99	22	20	20	100
AT15	22,64	21,8	24,99	22	20	100	10
AT16	32.14	21.8	100	22	20	20	10
AT17	24.9	100	24.99	22	20	20	10
AT18	28.04	21.8	24.99	116.01	20	20	10
AT19	47.48	43.79	59.99	66.8	49.99	70	25
AT20	71.12	64	100	83.99	70	70	50

É possível observar a ordenação por ordem decrescente de valor global das potenciais intervenções a serem realizadas, em função das pontuações obtidas em cada um dos critérios definidos para o modelo, representada na Tabela 41.

Tabela 41 - Valor global de intervenções em ativos da EDPD, por ordem decrescente

Valor Global de Desempenho dos Ativos da EDPD, por ordem decrescente	
1º AT4 (98.8)	11º AT16 (32.14)
2º AT20 (71.12)	12º AT8 (29.32)
3º AT3 (62.2)	13º AT18 (29.32)
4º AT6 (53.57)	14º AT17 (24.9)
5º AT19 (47.48)	15º AT15 (22.64)
6º AT13 (45.04)	16º AT10 (19.74)
7º AT2 (43.4)	17º AT1 (18.64)
8º AT14 (42.04)	18º AT12 (13.58)
9º AT7 (37.31)	19º AT11 (8.07)
10º AT5 (35)	20º AT9 (1.82)

Os valores globais das potenciais intervenções a serem realizadas sobre o conjunto de ativos analisado, traduz-se no ganho de valor relativamente à realização da correspondente intervenção em cada um dos ativos. Quanto maior o valor global de cada uma das potenciais intervenções, maior a necessidade de intervenção sobre o respetivo ativo considerado.

5.9 Atribuição de Categorias de Urgência

Após a obtenção do valor global associado a cada uma das alternativas/ativos analisados, procedeu-se à segunda fase do modelo. Tendo em conta a escala de valor global para as alternativas existentes, foram definidas e atribuídas a cada intervalo equiparável da escala, quatro categorias distintas de prioridade relativamente à maior ou menor necessidade de intervenção sobre uma das

alternativas (ativos) relativamente às restantes. As categorias definidas assim como os respetivos intervalos de valores, encontram-se definidas na Tabela 42.

Tabela 42 - Categorias de Urgência

Valor de Desempenho > 75	Muito Urgente
50 < Valor de Desempenho ≤ 75	Urgente
25 < Valor de Desempenho ≤ 50	Prioridade Moderada
Valor de Desempenho ≤ 25	Prioridade Baixa

A categoria “Muito Urgente” cobre também as situações cuja segurança para as pessoas possa ser seriamente comprometida (Pode causar Morte ou Incapacidade Permanente). Nessas situações, as intervenções são imediatamente classificadas em “Muito Urgente”, mesmo antes de ser aplicado o modelo multicritério para as mesmas, dado o elevado grau de importância relativamente ao critério referenciado. A associação de cada uma das categorias às alternativas avaliadas (ativos) é baseada no modelo de avaliação definido anteriormente, tendo em conta os valores globais obtidos para cada uma das potenciais intervenções a serem levadas a cabo.

Na Tabela 43 encontram-se os 20 ativos distribuídos pelas quatro categorias de urgência. De referir que os ativos AT6, AT7 e AT13 apesar da sua pontuação global não se encontrar dentro do intervalo definido para a categoria, representam todos uma situação cuja segurança para as pessoas pode estar comprometida (Pode causar Morte ou Incapacidade Permanente).

Tabela 43 - Distribuição dos ativos por categorias de urgência

Muito Urgente	Urgente	Prioridade Moderada	Prioridade Baixa
		AT19	AT17
AT4		AT2	AT15
AT6	AT3	AT14	AT10
AT7	AT20	AT5	AT1
AT13		AT16	AT12
		AT8	AT11
		AT18	AT9

Contudo, o modelo criado até ao momento não é completamente realista. É considerado um índice de prioridade relativamente ao conjunto de potenciais intervenções a realizar, no entanto este não contempla uma restrição importantíssima que deve ser considerada: o orçamento disponível pela empresa para a realização das referidas intervenções, devido aos recursos limitados que esta dispõe.

5.10 Análise de Portefólios

Tendo em conta os resultados obtidos anteriormente, e considerando agora o orçamento disponível pela EDP Distribuição para a realização de intervenções, procedeu-se a uma análise de portefólios de ativos a intervir, que para um determinado custo definido, apresentavam a máxima soma de valor multicritério, tendo em conta um orçamento definido pela EDPD para a intervenção sobre os ativos MT/BT.

Para tal foi utilizado o *software* de suporte à decisão PROBE (Portfolio Robustness Evaluation) (Lourenço et al., 2012), desenvolvido com o intuito de auxiliar o processo de tomada de decisão na difícil tarefa de selecionar um portefólio de projetos robusto, tendo em conta o limite de recursos existentes, múltiplos critérios, diferentes interações entre projetos e vários tipos de incertezas.

Foram selecionados os 20 ativos a necessitar de intervenção, cujas características se encontram descritas no Anexo 4. Para o cálculo dos custos da intervenção a ser realizada sobre cada um destes, foi realizada uma análise do histórico de ocorrências anteriores semelhantes, ou caso não fosse possível, por perceção ou estimativa. De referir que para esta análise de portefólios não foram considerados os ativos cuja categoria de urgência associada fosse “Muito Urgente” (AT4; AT6; AT7; AT13), uma vez que a intervenção associada a estes será sempre considerada necessária, e, portanto, estarão sempre incluídas em qualquer portefólio.

Para a realização da análise referida, foi estabelecido pela EDPD um orçamento para intervenções a levar a cabo sobre os 20 ativos, de 35.000€. Estabelecido o orçamento disponível, foi criada a árvore de valor de benefício utilizando o *software* PROBE, representada na Figura 22.

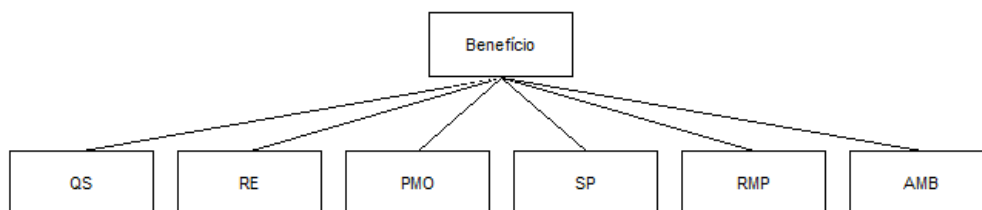


Figura 22 - Árvore de Valor Multicritério (Benefícios)

Para o desenvolvimento da árvore referida, foram utilizados os critérios definidos previamente para o modelo multicritério, assim como os respetivos pesos dos mesmos calculados pelo *software* M-MACBETH. De seguida, foram introduzidas as alternativas para o modelo, neste caso os 16 ativos de média/baixa tensão a serem intervencionados (não foram considerados os ativos cujo nível de prioridade é “Muito Urgente” pelas razões referidas anteriormente), assim como os valores globais associados a cada uma destas. Para esta análise de portefólios, foi considerado o ganho que seria obtido sendo realizada a potencial intervenção associada ao ativo referido, sendo posteriormente introduzidos os custos de cada uma das potenciais intervenções, tal como representados na Figura 23 e Figura 24, respetivamente.

Weights	0.18	0.08	0.1	0.33	0.05	0.26	Weighted
Projects/Criteria	QS	RE	PMO	SP	RMP	AMB	values
AT1	24.990	21.800	22.000	20.000	20.000	10.000	18.642
AT2	40.000	43.790	38.000	49.990	40.000	40.000	43.400
AT3	59.990	64.000	66.800	70.000	70.000	50.000	62.198
AT5	59.990	100.000	116.010	0.000	40.000	10.000	34.999
AT8	0.400	40.600	0.000	0.000	0.000	100.000	29.320
AT9	0.400	21.800	0.000	0.000	0.000	0.000	1.816
AT10	100.000	21.800	0.000	0.000	0.000	0.000	19.744
AT11	0.400	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.072
AT12	0.400	23.800	116.010	0.000	0.000	0.000	13.577
AT14	24.990	21.800	22.000	20.000	20.000	100.000	42.042
AT15	24.990	21.800	22.000	20.000	100.000	10.000	22.642
AT16	100.000	21.800	22.000	20.000	20.000	10.000	32.144
AT17	24.990	100.000	22.000	20.000	20.000	10.000	24.898
AT18	24.990	21.800	116.010	20.000	20.000	10.000	28.043
AT19	59.990	43.790	66.800	49.990	70.000	25.000	47.478
AT20	100.000	64.000	83.990	70.000	70.000	50.000	71.119

Figura 23 - Tabela de Pontuações parciais (QS, RE, PMO, SP, RMP, AMB) e das pontuações globais (weighted values) das potenciais Intervenções

Projects and synergie	Costs	Benefits
AT1	1150.000	18.642
AT2	2300.000	43.400
AT3	3400.000	62.198
AT5	4500.000	34.999
AT8	2100.000	29.320
AT9	1150.000	1.816
AT10	1150.000	19.744
AT11	4500.000	8.072
AT12	1150.000	13.577
AT14	1150.000	42.042
AT15	1150.000	22.642
AT16	1150.000	32.144
AT17	4500.000	24.898
AT18	1150.000	28.043
AT19	2300.000	47.478
AT20	3400.000	71.119

Figura 24 - Tabela de Custos (Costs) e de Valor Multicritério (Benefits) das potenciais Intervenções

Os dados da Figura 23 também se encontram representados graficamente na Figura 25.

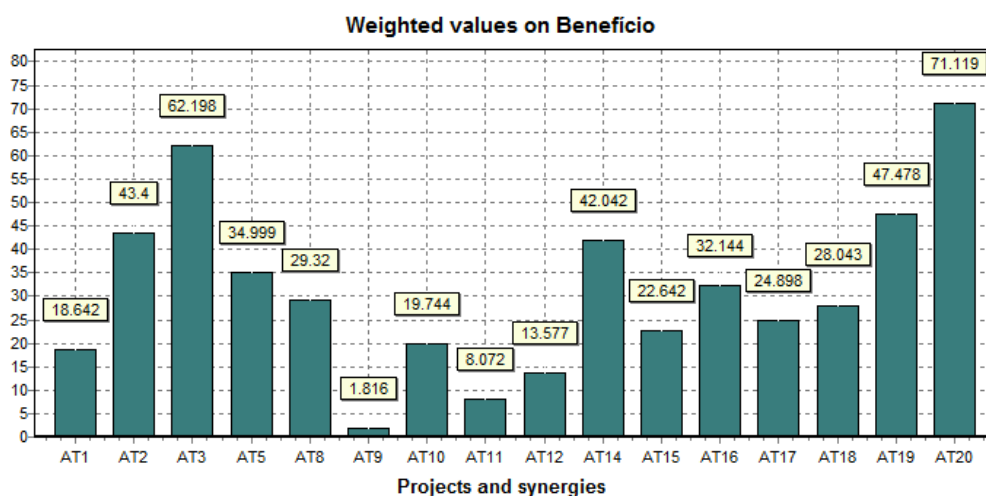


Figura 25 - Valor Global de Beneficio de cada potencial Intervenção

Foram também calculados os custos relacionados com as intervenções associadas aos ativos cujo nível de prioridade foi considerado “Muito Urgente”, como demonstrado na Tabela 44.

Tabela 44 - Custos das Intervenções de prioridade “Muito Urgente”

Ativo	Custo Intervenção
AT4	4 500 €
AT6	700 €
AT7	900 €
AT13	1 150 €
Custo Total	7 250 €

Como o orçamento total disponível para a realização de intervenções sobre os ativos era de 35.000€, e considerando que os ativos cujo nível de urgência foi considerado “Muito Urgente” serão sempre selecionados como ativos a intervir, o orçamento restante relativamente às potenciais intervenções ainda não consideradas, é de 27.750€.

Introduzidos todos os dados necessários das alternativas, procedeu-se então à análise em termos de prioridade de intervenções, tendo em conta o rácio benefício/custo de cada alternativa. Os resultados obtidos encontram-se representados na Tabela 45.

Tabela 45 - Alternativas por ordem de prioridade Benefício/Custo

Ativos por Ordem de Prioridade (em €)						
Ordem de Prioridade	Ativo	Beneficio	Custo	Beneficio/Custo	Beneficio Cumulativo	Custo Cumulativo
1	AT14	42.042	1 150	0.037	42.042	1 150
2	AT16	32.144	1 150	0.028	74.186	2 300
3	AT18	28.043	1 150	0.024	102.229	3 450
4	AT20	71.119	3 400	0.021	173.348	6 850
5	AT19	47.478	2 300	0.021	220.826	9 150

(continua)

Tabela 45 - Alternativas por ordem de prioridade Benefício/Custo (continuação)

Ativos por Ordem de Prioridade (em €)						
Ordem de Prioridade	Ativo	Benefício	Custo	Benefício/Custo	Benefício Cumulativo	Custo Cumulativo
6	AT15	22.642	1 150	0.020	243.468	10 300
7	AT2	43.399	2 300	0.019	286.867	12 600
8	AT3	62.198	3 400	0.018	349.065	16 000
9	AT10	19.744	1 150	0.017	368.809	17 150
10	AT1	18.642	1 150	0.016	387.451	18 300
11	AT8	29.32	2 100	0.014	416.771	20 400
12	AT12	13.577	1 150	0.012	430.348	21 550
13	AT5	34.999	4 500	0.008	470.347	26 050
14	AT17	24.898	4 500	0.006	495.245	30 550
15	AT11	8.072	4 500	0.002	503.317	35 050
16	AT9	1.816	1 150	0.002	505.133	36 200

É possível observar que a alternativa AT14 é a alternativa com maior nível de prioridade, uma vez que possui o maior rácio benefício/custo. Pelo contrário, a alternativa com o menor nível de prioridade sobre as restantes, é a opção AT9, cujo rácio benefício/custo é o mais reduzido. No modelo multicritério desenvolvido, esta alternativa tinha também sido considerada como uma das alternativas com um índice de prioridade de intervenção mais reduzido (Prioridade Baixa). O custo cumulativo das intervenções é de 36.200€ e o benefício cumulativo é de 505.133 unidades de valor.

De seguida, considerando o restante orçamento disponível para a realização de intervenções sobre os ativos de média/baixa tensão excetuando os ativos de grau de urgência “Muito Urgente” (27.750€), foram analisados os portefólios eficientes de projetos, representados no Anexo 5, no qual é possível perceber a constituição de cada um dos 57 portefólios eficientes encontrados, como as alternativas constituintes de cada portefólio, o custo e benefício associado ao mesmo assim como o facto de o portefólio ser convexamente ou não-convexamente eficiente.

No gráfico da Figura 26 encontram-se representados todos os portefólios eficientes, analisados pelo *software* PROBE, quando o orçamento disponível varia de zero até à soma dos custos de todas as alternativas incluídas nos portefólios representados.

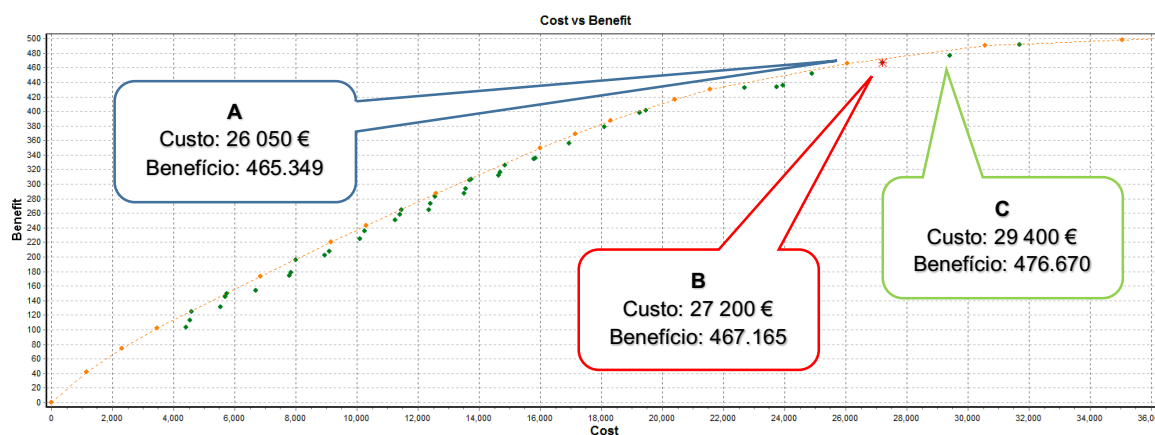


Figura 26 - Representação da fronteira eficiente pelo software PROBE (em €)

Na Figura 26 representado com uma cruz vermelha (B), encontra-se representado o portefólio eficiente cujo custo é o mais próximo do orçamento disponível para intervenções sobre todos os ativos exceto os ativos AT17 e AT11 (27.200€), cujo índice de prioridade tinha sido definido anteriormente como “Prioridade Baixa”, e representado imediatamente antes deste (A) encontra-se o portefólio eficiente cujo custo é de 26 050€, para intervenções sobre o conjunto de ativos exceto os ativos AT17, AT11 e AT9, cujo índice de prioridade também tinha sido definido como “Prioridade Baixa”.

Contudo, analisando a quantidade adicional de investimento para passar do portefólio A para o B, conclui-se que para o custo adicional necessário de 1 150€, seria acrescentado um valor de benefício global adicional de 1,816.

Em termos das categorias de urgência que caracterizam as potenciais intervenções incluídas no portefólio A, este inclui todos os ativos classificados como “Muito Urgente”, como já havia sido referido anteriormente, todos os ativos classificados segundo os índices “Urgentes”, “Prioridade Média” e praticamente todos os ativos da categoria de urgência menos significativa, exceto o AT17 e AT11.

Quando foi apresentado o gráfico ao grupo de decisores da EDPD, o grupo decidiu que o portefólio B apresentava uma melhor utilização do orçamento disponível, relativamente ao benefício que proporcionava, assim como o elevado conjunto total de ativos selecionados para intervenção. O portefólio B foi então o aceite pelo grupo decisor.

5.11 Conclusões do Capítulo

No presente capítulo foi aplicada a metodologia multicritério ao problema de priorização de intervenções a serem realizadas sobre os ativos de média/baixa tensão da EDP Distribuição. Para tal, foi desenvolvido o modelo de avaliação multicritério com o intuito de calcular o valor global de potenciais intervenções sobre os ativos da EDPD, permitindo através dos julgamentos realizados pelo grupo de decisores, pontuar os critérios de avaliação definidos, e posteriormente obter o valor global de cada uma das potenciais intervenções consideradas para este estudo. Este modelo permitiu também construir um índice de priorização, em termos de nível de urgência de necessidade de intervenção, sobre o conjunto de ativos analisado.

Contudo, o modelo desenvolvido até ao momento, não contemplava uma restrição importantíssima que deve ser considerada: o orçamento disponível pela empresa para a realização das referidas intervenções, devido aos recursos limitados que esta dispõe. Tendo em conta os resultados do modelo multicritério desenvolvido, foi realizada uma análise de portefólios de possíveis intervenções a serem levadas a cabo, de modo a obter o portefólio eficiente que permitisse obter o máximo valor multicritério, tendo em conta o orçamento disponível. Esta análise permitiu realizar uma seleção de potenciais intervenções a serem realizadas, tendo em conta os valores de desempenho global de cada uma das potenciais intervenções, obtidos a partir do modelo multicritério, assim como os custos associados a cada intervenção potencial.

O portefólio eficiente escolhido pelo grupo decisor permitiu maximizar a utilização do orçamento disponível para intervenções sobre o conjunto total dos 20 ativos MT/BT, atingindo um custo de 34.450€, não sendo intervencionados apenas dois ativos (AT17 e AT11) cujo índice de urgência já tinha sido definido anteriormente como “Prioridade Baixa”.

No capítulo seguinte será desenvolvida uma análise aos resultados obtidos, mais concretamente uma análise de robustez ao portefólio proposto ao grupo de decisores, e validado pelos mesmos.

6 Análise dos Resultados

No presente capítulo serão analisados os resultados da metodologia proposta no capítulo 4, e aplicada no capítulo 5. Será efetuada uma análise de robustez ao portfólio de intervenções eficiente escolhido, de forma a comparar o mesmo com possíveis portfólios competidores. No final do capítulo serão apresentadas as respectivas conclusões do mesmo.

6.1 Análise de Robustez ao Portfólio Proposto

Um das funcionalidades do *software* PROBE consiste na capacidade de avaliar a robustez de um portfólio selecionado, considerando para tal diversas fontes de incerteza em simultâneo. Visto tratar-se de um problema de seleção de intervenções tendo em conta o orçamento disponível, é importante analisar se o portfólio ótimo escolhido anteriormente, se revela robusto.

Foram então definidas incertezas relativamente aos valores de benefícios das alternativas. Para os valores de benefícios das alternativas em cada critério, foram definidos vários graus de incerteza, com o intuito de identificar portfólios competidores em cada um dos níveis de incerteza definidos, de modo a perceber a robustez apresentada pelo portfólio proposto, ou seja, para esses níveis de incerteza que portfólios podem ser melhores que o portfólio proposto. O processo iniciou-se com uma incerteza de 1% ($\alpha = 0.01$), que corresponde a +/- 1 unidade de valor na pontuação de valor de cada intervenção potencial em cada um dos critérios, como se mostra na Figura 27.

Projects/Criteria	SP	AMB	QS	PMO	RE	RMP
Variation [0, 1]	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
AT1	20.000	10.000	24.990	22.000	21.800	20.000
AT2	49.990	40.000	40.000	38.000	43.790	40.000
AT3	70.000	50.000	59.990	66.800	64.000	70.000
AT5	0.000	10.000	59.990	116.010	100.000	40.000
AT8	0.000	100.000	0.400	0.000	40.600	0.000
AT9	0.000	0.000	0.400	0.000	21.800	0.000
AT10	0.000	0.000	100.000	0.000	21.800	0.000
AT11	0.000	0.000	0.400	0.000	100.000	0.000
AT12	0.000	0.000	0.400	116.010	23.800	0.000
AT14	20.000	100.000	24.990	22.000	21.800	20.000
AT15	20.000	10.000	24.990	22.000	21.800	100.000
AT16	20.000	10.000	100.000	22.000	21.800	20.000
AT17	20.000	10.000	24.990	22.000	100.000	20.000
AT18	20.000	10.000	24.990	116.010	21.800	20.000
AT19	49.990	25.000	59.990	66.800	43.790	70.000
AT20	70.000	50.000	100.000	83.990	64.000	70.000

Figura 27 - Valor das pontuações das potenciais Intervenções, tendo em conta a variação definida

A análise de robustez efetuada ao portfólio proposto, procedeu-se através da variação de $\pm \alpha\%$ ($\alpha \geq 1$, aumento 1% em cada iteração) afetando o valor de benefício das alternativas, simultaneamente. Para um nível de incerteza $\alpha < 20\%$, não foi encontrado qualquer portfólio competidor. A Tabela 46 apresenta a composição do portfólio competidor, assim como uma comparação entre a composição

de ambos. Para a variação considerada de 20%, encontra-se no Anexo 6 os valores obtidos relativamente ao benefício para cada um dos portefólios eficientes.

Tabela 46 - Diferenças entre o portefólio proposto e competidor

Nível de variação	Número de portefólios Competidores	Projetos exclusivos ao portefólio proposto	Projetos exclusivos ao portefólio competidor
$\alpha = 20\%$	1	AT1 AT2 AT3 AT5 AT8 AT9 AT10 AT12 AT14 AT15 AT16 AT18 AT19 AT20	AT11 AT17

Além dos ativos AT4, AT6, AT7, e AT13, classificados anteriormente com o índice de prioridade “Muito Urgente”, o portefólio competidor apenas apresenta adicionalmente os ativos AT11 e AT17, cujo índice de prioridade tinha sido classificado como “Prioridade Baixa”. Para uma variação considerável dos benefícios globais das potenciais intervenções, 20%, o portefólio escolhido revela-se, portanto, bastante robusto.

De seguida foi analisada a robustez do portefólio escolhido, considerando desta vez uma variação relativamente aos valores dos custos das potenciais intervenções. Para uma variação dos custos das potenciais intervenções entre 0% e 100%, não foram encontrados quaisquer portefólios competidores ao portefólio proposto.

6.2 Conclusões do Capítulo

No presente capítulo foi realizada uma análise aos resultados obtidos pelo modelo desenvolvido no capítulo anterior.

Para tal, foi realizada uma análise de robustez ao portefólio escolhido. Variando os parâmetros, foi possível verificar a robustez do portefólio, comparando com possíveis portefólios competidores para a gama de valores indicada. O portefólio selecionado no capítulo anterior revelou-se bastante robusto para uma variação até 20% dos valores de pontuação de cada intervenção potencial em cada um dos critérios, a partir do qual surgiu o primeiro portefólio competidor. O portefólio escolhido permite maximizar o valor multicritério obtido, assim como tirar o maior partido do orçamento disponível pela EDPD para intervenções a realizar sobre o conjunto de ativos de média/baixa tensão analisados.

No capítulo seguinte serão apresentadas as conclusões da dissertação desenvolvida, assim como possíveis melhorias e limitações encontradas.

7 Conclusões e Trabalho Futuro

Na presente dissertação foi analisada a necessidade de um sistema de gestão de ativos, mais concretamente relativamente à necessidade de uma priorização relativamente à manutenção sobre os mesmos. O principal objetivo desta investigação consistiu no desenvolvimento de um modelo que permitisse selecionar as intervenções a levar a cabo sobre os transformadores de média/baixa tensão da EDPD.

O desenvolvimento da investigação acerca deste tema revelou-se bastante interessante, permitindo perceber todo o processo de gestão de ativos da EDP Distribuição, assim como a sua importância para o desenvolvimento da atividade da empresa. A relação com o grupo de decisores foi também bastante interessante, tanto do ponto de vista profissional como pessoal, permitindo um aumento de conhecimentos na área da energia assim como um primeiro contacto ao mundo profissional.

Uma das dificuldades encontradas no decorrer do modelo, passou pela classificação o mais assertiva possível relativamente aos valores das potenciais intervenções em cada um dos critérios definidos, de forma a tornar o modelo o mais realista possível, devido ao excesso de informação associado a estes ativos.

Foi encontrado o portefólio ótimo de intervenções a serem levadas a cabo, que permitiu maximizar o valor multicritérios associado às intervenções, assim como tirar o máximo partido do orçamento disponível pela EDPD para tal, portefólio esse que foi aceite pelos decisores. Analisando os resultados, o portefólio ótimo revela características importantes tal como o facto de incluir intervenções sobre todos os ativos cujo índice de prioridade havia sido definido como “Muito Urgente”, “Urgente” e “Prioridade Moderada” assim como a maior parte dos restantes de “Prioridade Baixa”.

Com a aplicação do modelo proposto, assim como os resultados obtidos a partir do mesmo, é possível afirmar que os objetivos delineados inicialmente para esta dissertação foram atingidos. O grupo de decisores considerou tanto a metodologia como os resultados obtidos, bastante interessantes, dado o impacto positivo esperado após implementação do modelo desenvolvido, aos ativos analisados.

Como possível trabalho futuro, uma das propostas seria que o modelo de priorização de intervenções desenvolvido para os ativos de média/baixa tensão, passasse a ser utilizado sobre uma gama mais ampla de ativos da EDPD, assim como a sua utilização em conjunto com outros tipos de modelos como por exemplo o desenvolvimento de um modelo que permitisse monitorizar e gerir o risco associado ao conjunto de ativos analisados, algo que já acontece, mas apenas para os transformadores de alta tensão. Para tal, tanto a monitorização como a gestão do risco associados aos ativos, deverá ser atualizada periodicamente, utilizando por exemplo uma base de dados, de forma a ser possível identificar e analisar as características específicas associadas a cada tipo de ativos.

Como forma de finalizar a conclusão, deseja-se que o trabalho executado seja considerado uma ferramenta útil para a priorização de intervenções sobre os ativos de média/baixa tensão da EDP Distribuição, e que o mesmo venha a ser utilizado no mesmo âmbito.

Referências

- Aven, T. (2008). Risk analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. Chichester, Wiley.
- Bana e Costa, C.A., Ensslin, L., Corrêa, É., & Vansnick, J.-C. (1999). Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113, 315–335.
- Bana e Costa, C.A., Beinat, E. (2005): “Model-structuring in public decision-aiding”. London School of Economics and Political Science, Working Paper, LSEOR 05.79.
- Bana e Costa, C.A., Carnero, M.C., Oliveira, M.D. (2012). A multi-criteria model for auditing a predictive maintenance programme. *European Journal of Operational Research*, 217(2), 381-393.
- Bana e Costa, C.A., Da Costa-Lobo, M.L., Ramos, I.A., Vansnick, J., (2001): “Multicriteria approach for strategic town planning: the case of Barcelos”. Operational Research Working Papers, LSEOR 01.36.
- Bana e Costa, C.A., De Corte, J.M., Vansnick, J.C. (2005a). M-MACBETH Version 1.1 User's Guide.
- Bana e Costa C.A., De Corte J.M., Vansnick J.C. (2005b). On the Mathematical Foundations of MACBETH, in J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer, New York, pp. 409-442.
- Bana e Costa, C.A., De Corte, J.M., Vansnick, J.C. (2012). MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(2), 359-387.
- Bana e Costa, C.A., Lourenço, J.C., Chagas, M.P., e Bana e Costa, J.C. (2008). Development of Reusable Bid Evaluation Models for the Portuguese Electric Transmission Company. *Decision Analysis*, 5(1), 22-42.
- Bana e Costa, C.A., Oliveira, R.C. (2002). Assigning priorities for maintenance, repair and refurbishment in managing a municipal housing stock. *European Journal of Operational Research*, 138(2), 380-391.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C. (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 1422-1428.
- Bastos, A.V. (2002). Mapas cognitivos e a pesquisa organizacional: explorando aspetos metodológicos. *Estudos de psicologia*, 7, 64-77.
- Brown, R.E., Humphrey, B.G. (2005). Asset Management for Transmission and Distribution. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(2), 39-45.
- Bryson, J. M., Ackermann, F., Eden, C., Finn, C.B. (2004). Visible thinking: Unlocking causal mapping for practical business results. John Wiley & Sons.
- Buzan, T., Buzan, B. (1993). The Mind Map Book. BBC Books, London.
- Carnero, M.C. (2005). Selection of predictive diagnostic techniques. A case study. *Decision Support Systems* 38, 539–555.
- Carnero, M.C. (2004). The control of the setting up of a Predictive Maintenance Programme using a system of indicators. *Omega*, 32, 57–75.
- Cho, K. T. A. E. (2003). Multicriteria Decision Methods: An Attempt to Evaluate and Unify. *Mathematical and Computer Modelling*, 37, 1099–1119.

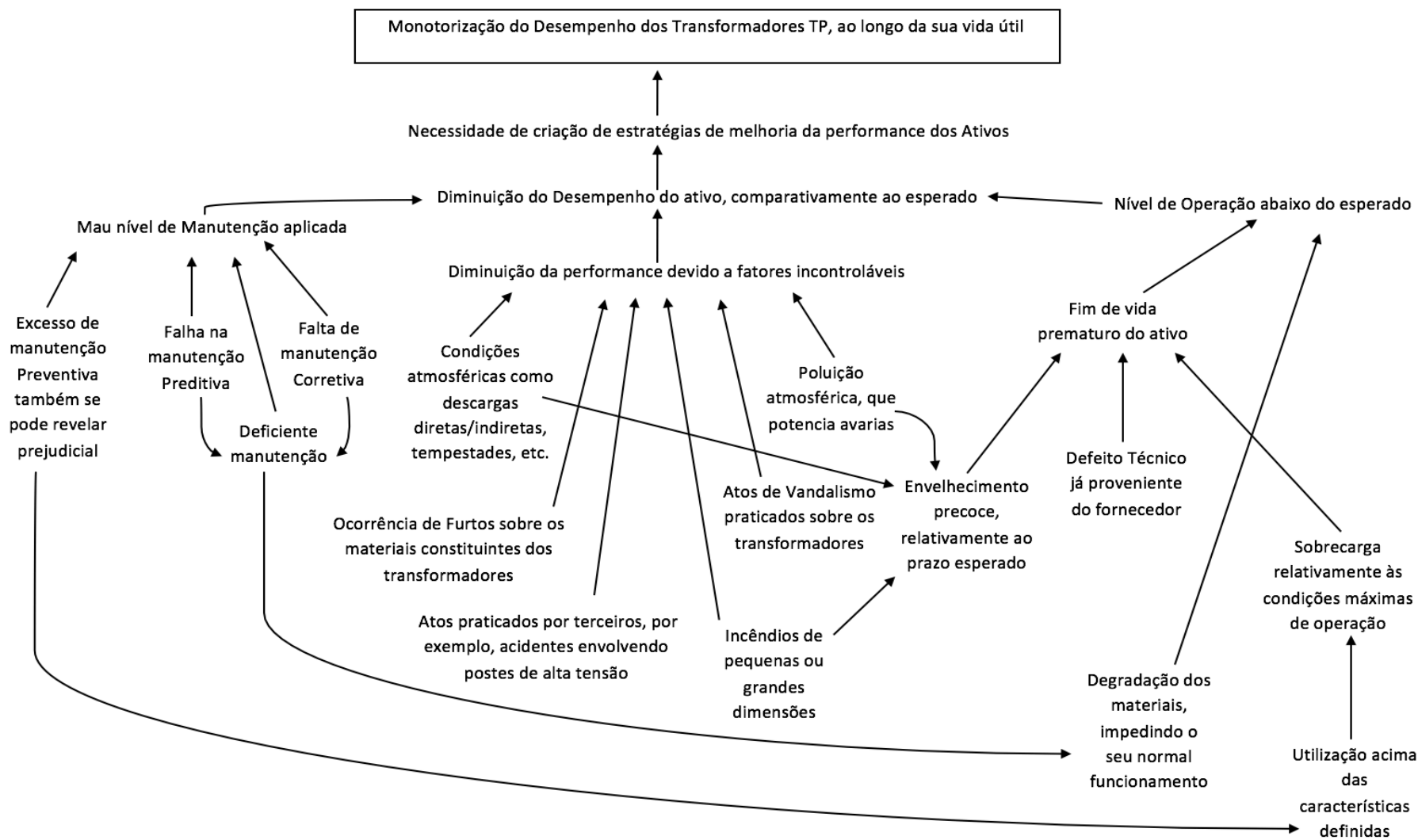
- Christer, A.H., Wang, W., Sharp, J.M. (1997). A state space condition monitoring model for furnace erosion prediction and replacement. *European Journal of Operational Research*, 101, 1–14.
- Clemen, R.T., Smith, J.E. (2009). On the choice of baselines in multiattribute portfolio analysis: A cautionary note. *Decision Analysis*, 6(4), 256-262.
- Deeks, K. (2005): DTLR multi-criteria analysis manual, Central Government.
- Dickinson, M.W.; Thornton, A.C.; Graves, S. (2001). Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(4), 518–527.
- Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159(3), 673-686.
- Eden, C. (1992). On the nature of cognitive maps. *Journal of management studies*, 29(3), 261-265.
- EDP (2016). JUMP: Modernização de Processos e Sistemas de Gestão de Ativos e Comercial do Operador de Rede de Distribuição.
- EDP (2013). Quadros Superiores - Fundamento do Conhecimento Técnico Da Distribuição: Gestão de Ativos.
- Edwards, W. (1977). How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 7(5), 326-340.
- Edwards, W., Barron, F.H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60(3), 306-325.
- Fasolo, B., Bana e Costa, C.A. (2014). Tailoring value elicitation to decision makers' numeracy and fluency: Expressing value judgments in numbers or words. *Omega*, 44(0), 83-90.
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Vol. 78. Springer.
- Garey, M.R., Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Freeman, San Francisco, CA.
- Guitouni, A., Martel, J.-M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Harary, F. (1972). *Graph Theory*. Addison-Wesley, Reading.
- Harary, F., Norman, R., Cartwright, D. (1965). *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. Wiley, New York.
- ISO 55000:2014, *Asset Management – Overview, principles and terminology*.
- Kayo, E.K., Kimura, H., Martin, D.M.L., Nakamura, W.T. (2006). Ativos intangíveis, ciclo de vida e criação de valor. *Revista de administração contemporânea*, 10(3), 73-90.
- Keeney, R.L. (1992). *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Keeney, R.L., Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons, New York.
- Kelly, G.A. (1955) *The Psychology of Personal Constructs*. Norton, New York.
- Kirkwood, C.W. (1997). *Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets*. Duxbury Press, Belmont, California.

- Lahdelma, R., Salmien, P., Hokkanen, J. (2000). Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management. *Environmental Planning and Management*, 26(6), 595–605.
- Lebas, M.J. (1995). Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics* 41, 23–35.
- Linkov I., Sahay S., Kiker G., Bridges T., Seager T. (2005) Multi-Criteria Decision Analysis: A Framework for Managing Contaminated Sediments. In: Levner E., Linkov I., Proth JM. (eds) *Strategic Management of Marine Ecosystems*. NATO Science Series IV: Earth and Environmental Series, vol 50. Springer, Dordrecht, pp. 1-27.
- Lourenço, J.C., Morton, A., Bana e Costa, C.A. (2012). PROBE—A multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. *Decision Support Systems*, 54(1), 534-550.
- Lourenço, J.C., Soares, J.O., Bana e Costa, C.A. (2017). Portfolio robustness evaluation: A case study in the electricity sector. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(1), 59-80.
- Lupinucci, M., Pérez, J.G., Tiseyra, L. (2000). Improving sheet metal quality and product throughput with Bently's Machinery Management System. *Orbit* 21, 37–41.
- Luthra, V. (2010). Business dictionary.
- McHugh, P. (1968) *Defining the Situation*. Bobbs-Merrill, New York.
- Mendoza, G.A., Martins, H. (2006). Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230(1-3), 1–22.
- Mobley, K., (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth–Heinemann, MA.
- Mobley, K. (1997). Why predictive programs fail. Plant Services.
- Montibeller, G., Belton, V. (2006). Causal maps and the evaluation of decision options - a review. *Journal of the Operational Research Society*, 57(7), 779-791.
- Montibeller, G., Belton, V., Ackermann, F., Ensslin, L. (2008). Reasoning maps for decision aid: an integrated approach for problem-structuring and multi-criteria evaluation. *Journal of the Operational Research Society*, 59(5), 575-589.
- Nordgård, D. E., Sand, K., Wangensteen, I. (2009). Risk assessment methods applied to electricity distribution system asset management. Reliability, risk and safety: theory and applications. CRC Press, 429-436.
- Nutt, P.C., Wilson, D.C. (Eds.). (2010). *Handbook of decision making* (Vol. 6). John Wiley & Sons 7, 231-271.
- Phillips, L.D., Bana e Costa, C.A. (2007). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing, *Annals of Operations Research* 154(1): 51–68.
- Schein, E.H. (1999). *Process Consultation Revisited: Building the Helping Relationship*. Prentice-Hall.
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics* 70, 237–244.
- Thomas, W.I., Thomas, D.S. (1928) *The Child in America: Behavior Problems and Programs*. Knopf, New York.

- Tsang, A.H.C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 8, 7–39.
- Villar, J.M., Masson, L.O., Gomes, J.A. (2000). Proactive maintenance – A successful history. Orbit, Bently Nevada, 21.
- von Winterfeldt, D., Edwards, R. (1986). *Decision Analysis and Behavioral Research*. Cambridge University Press.
- Waevenberg, G., Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics* 77, 299–313.
- Wang, H. (2002). A survey of maintenance policies of deteriorating systems. *European Journal of Operational Research* 139, 469–489.
- Weyerhaeuser, J.W. (2000). Bearing failures dry up at Weyerhaeuser. In: *Practicing Oil Analysis*.
- Williams, L., Jami, I., Argent, S. (2007). Good practice asset risk management: A regulator's tale. 19th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Vienna, Austria Zeleny, M., & Cochrane, J. L. (1982). *Multiple criteria decision making (Vol. 25)*: McGraw-Hill New York.

8 Anexos

Anexo 1 – Mapa Cognitivo



Anexo 2 – Matrizes de julgamentos MACBETH para os níveis de impacto dos indicadores

	DS+5	DS3-5	DS1-3	DP+5	DP3-5	DP1-3	SI	Escala atual
DS+5	nula	mt. forte	mt. forte	mt. forte	extrema	extrema	extrema	100.00
DS3-5		nula	forte	forte	mt. forte	mfort-extr	mfort-extr	70.00
DS1-3			nula	moderada	forte	mt. forte	mt. forte	50.00
DP+5				nula	forte	mt. forte	fort-mfort	40.84
DP3-5					nula	forte	forte	25.00
DP1-3						nula	mod-fort	10.00
SI							nula	0.00

Anexo Figura 1 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Impacto Ambiental

	NI	NN	NR	NL	SI	Escala atual
NI	nula	mt. forte	extrema	extrema	extrema	100
NN		nula	mfort-extr	mt. forte	mfort-extr	70
NR			nula	forte	fort-mfort	40
NL				nula	forte	20
SI					nula	0

Anexo Figura 2 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Repercussão nos Média e População

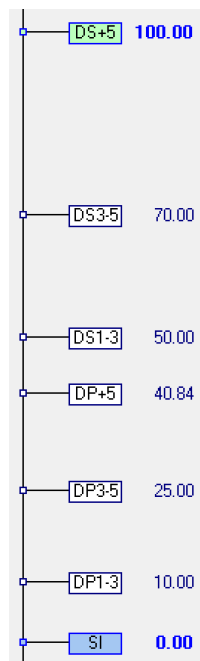
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	Escala atual
0.5	nula	forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mfort-extr	mfort-extr	mfort-extr	extrema	extrema	100.00
1		nula	forte	forte	forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mfort-extr	80.00
1.5			nula	moderada	mod-fort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	58.00
2				nula	mod-fort	forte	forte	forte	forte	mt. forte	51.00
2.5					nula	mod-fort	mod-fort	mod-fort	fort-mfort	fort-mfort	40.00
3						nula	moderada	mod-fort	moderada	forte	29.65
3.5							nula	moderada	moderada	mod-fort	25.00
4								nula	frac-mod	mod-fort	20.00
4.5									nula	moderada	10.00
5										nula	0.00

Anexo Figura 3 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Período Médio entre Ocorrências

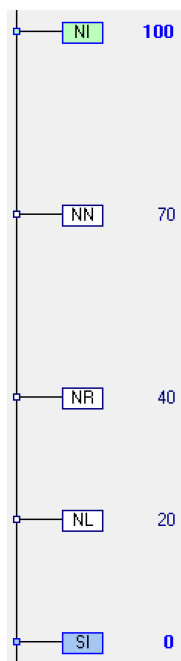
	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500	250	0	Escala atual	
4500	nula	forte	forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	extrema	extrema	extrema	100.00
4250		nula	moderada	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	89.00
4000			nula	mod-fort	forte	forte	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	81.00
3750				nula	moderada	forte	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	72.00
3500					nula	mod-fort	mod-fort	forte	forte	forte	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	66.00
3250						nula	moderada	mod-fort	forte	forte	forte	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	61.00
3000							nula	moderada	mod-fort	mod-fort	forte	forte	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	56.00
2750								nula	mod-fort	moderada	mod-fort	forte	forte	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	51.00
2500									nula	frac-mod	moderada	forte	forte	fort-mfort	fort-mfort	fort-mfort	mt. forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	47.00
2250										nula	frac-mod	forte	forte	forte	forte	forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	43.00
2000											nula	forte	forte	forte	forte	forte	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	40.00
1750												nula	moderada	mod-fort	mod-fort	mod-fort	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	mf-ort-extr	30.00
1500													nula	frac-mod	moderada	mod-fort	forte	forte	forte	forte	26.00
1250														nula	frac-mod	moderada	forte	forte	forte	forte	23.00
1000															nula	frac-mod	forte	forte	forte	forte	20.00
750																nula	forte	forte	forte	forte	16.01
500																	nula	frac-mod	mod-fort	mod-fort	7.00
250																		nula	frac-mod	frac-mod	3.00
0																			nula	nula	0.00

Anexo Figura 4 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Impacto nos Resultados Económicos

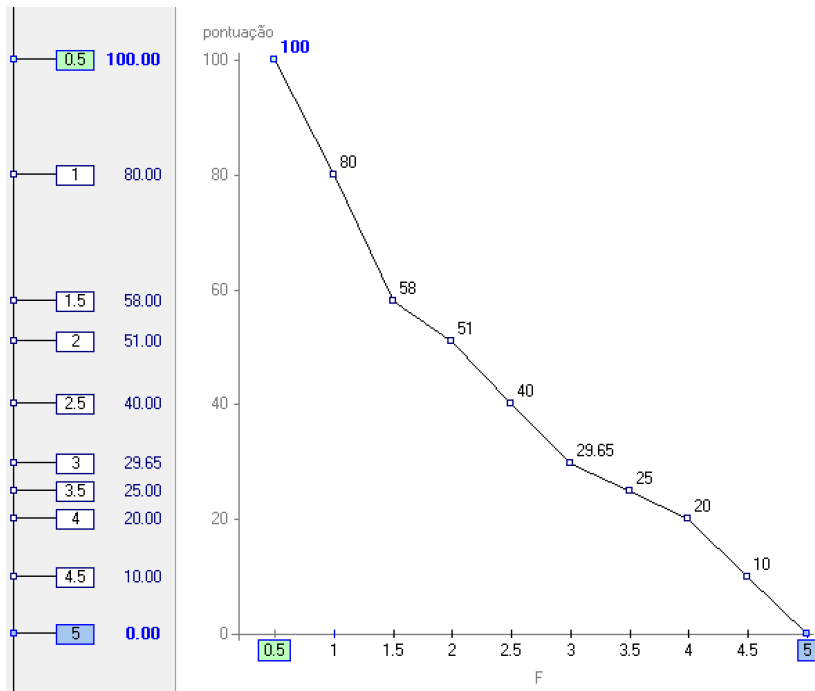
Anexo 3 – Escalas termométricas MACBETH para os níveis de impacto dos indicadores



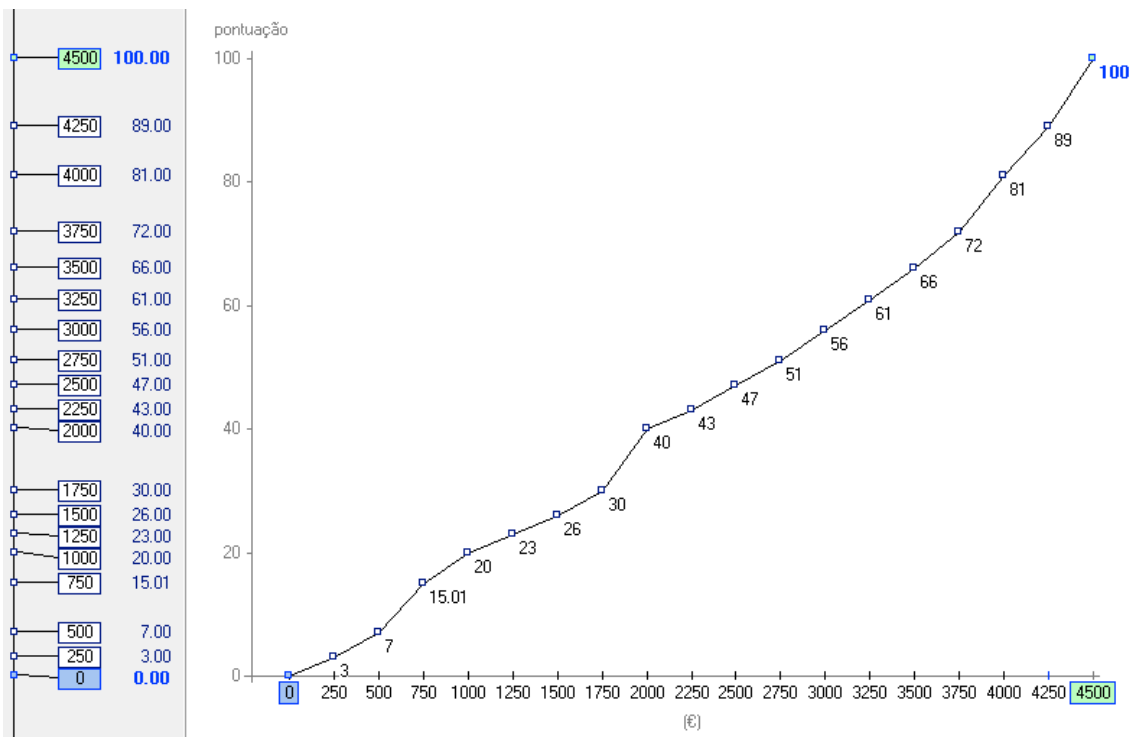
Anexo Figura 5 - Escala termométrica MACBETH para os níveis de impacto do indicador Impacto Ambiental



Anexo Figura 6 - Escala termométrica MACBETH para os níveis de impacto do indicador Repercussão nos Média e População



Anexo Figura 7 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Período Médio entre Ocorrências



Anexo Figura 8 - Matriz de julgamentos MACBETH para os níveis de desempenho do indicador Impacto nos Resultados Económicos

Anexo 4 – Lista de opções para análise do modelo de avaliação multicritério MACBETH

Transformadores de Potência MT/BT						
Ativos	Critérios de Avaliação					
	Segurança	Ambiente	Repercussão nos Média e População	Qualidade do Serviço	Indicadores Económicos	Período Médio entre Ocorrências
1	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Local	0.75	1150	3.8
2	Necessidade de Tratamento Médico	Pode causar Danos Pequenos durante + de 5 anos	Notícia Regional	1.5	2300	2.6
3	Necessidade de Internamento Hospitalar	Pode causar Danos Significativos entre 1 a 3 anos	Notícia Nacional	2.25	3400	1.3
4	Morte ou Incapacidade Permanente	Pode causar Danos Significativos durante + de 5 anos	Notícia Internacional	3	4500	0.9
5	Sem impacto	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Regional	2.25	4500	0.1
6	Morte ou Incapacidade Permanente	Pode causar Danos Significativos entre 1 a 3 anos	Notícia Regional	0.75	700	5
7	Morte ou Incapacidade Permanente	Sem impacto	Sem impacto	0.01	900	3.2
8	Sem impacto	Pode causar Danos Significativos durante + de 5 anos	Sem impacto	0.01	2100	5
9	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto	0.01	1150	5
10	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto	3	1150	5
11	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto	0.01	4500	5
12	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto	0.01	1300	0.1
13	Morte ou Incapacidade Permanente	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Local	0.75	1150	3.8
14	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Significativos durante + de 5 anos	Notícia Local	0.75	1150	3.8
15	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Internacional	0.75	1150	3.8
16	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Local	3	1150	3.8
17	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Local	0.75	4500	3.8
18	Necessidade de Primeiros Socorros	Pode causar Danos Pequenos entre 1 a 3 anos	Notícia Local	0.75	1150	0.1
19	Necessidade de Tratamento Médico	Pode causar Danos Pequenos entre 3 a 5 anos	Notícia Nacional	2.25	2300	1.3
20	Necessidade de Internamento Hospitalar	Pode causar Danos Significativos entre 1 a 3 anos	Notícia Nacional	3	3400	0.9

Anexo 5 – Portefólios Eficientes obtidos pelo *software* PROBE

PORTEFÓLIOS EFICIENTES																			
	Convexamente Eficiente	Custo	Benefício	AT1	AT2	AT3	AT5	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12	AT14	AT15	AT16	AT17	AT18	AT19	AT20
1.	Sim	0	0																
2.	Sim	1 150	42.042										X						
3.	Sim	2 300	74.186										X		X				
4.	Sim	3 450	102.229										X		X		X		
5.	Não	4 400	103.506					X					X		X				
6.	Não	4 550	113.161										X						X
7.	Não	4 600	124.872										X	X	X		X		
8.	Não	5 550	131.549					X					X		X		X		
9.	Não	5 700	145.305										X		X				X
10.	Não	5 750	149.708										X		X		X	X	
11.	Não	6 700	154.192					X					X	X	X		X		
12.	Sim	6 850	173.348										X		X		X		X
13.	Não	7 800	174.625					X					X		X				X
14.	Não	7 850	179.028					X					X		X		X	X	
15.	Não	8 000	195.991										X	X	X		X		X
16.	Não	8 950	202.668					X					X		X		X		X
17.	Não	9 100	207.503			X							X		X				X
18.	Sim	9 150	220.827										X		X		X	X	X
19.	Não	10 100	225.311					X					X	X	X		X		X
20.	Não	10 250	235.547			X							X		X		X		X

(Continua)

PORTEFÓLIOS EFICIENTES																			
	Convexamente Eficiente	Custo	Benefício	AT1	AT2	AT3	AT5	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12	AT14	AT15	AT16	AT17	AT18	AT19	AT20
21.	Sim	10 300	243.469										X	X	X		X	X	X
22.	Não	11 250	250.147					X					X		X		X	X	X
23.	Não	11 400	258.189			X							X	X	X		X		X
24.	Não	11 450	264.226		X								X		X		X	X	X
25.	Não	12 350	264.867			X		X					X		X		X		X
26.	Não	12 400	272.789					X					X	X	X		X	X	X
27.	Não	12 550	283.025			X							X		X		X	X	X
28.	Sim	12 600	286.869		X								X	X	X		X	X	X
29.	Não	13 500	287.509			X		X					X	X	X		X		X
30.	Não	13 550	293.546		X			X					X		X		X	X	X
31.	Não	13 700	305.667			X							X	X	X		X	X	X
32.	Não	13 750	306.613		X					1			X	X	X		X	X	X
33.	Não	14 650	312.345			X		X					X		X		X	X	X
34.	Não	14 700	316.189		X			X					X	X	X		X	X	X
35.	Não	14 850	326.425		X	X							X		X		X	X	X
36.	Não	15 800	334.987			X		X					X	X	X		X	X	X
37.	Não	15 850	335.933		X			X		X			X	X	X		X	X	X
38.	Sim	16 000	349.067		X	X							X	X	X		X	X	X
39.	Não	16 950	355.745		X	X		X					X		X		X	X	X
40.	Sim	17 150	368.811		X	X				X			X	X	X		X	X	X
41.	Não	18 100	378.387		X	X		X					X	X	X		X	X	X
42.	Sim	18 300	387.453	X	X	X				X			X	X	X		X	X	X

(continua)

PORTEFÓLIOS EFICIENTES																			
	Convexamente Eficiente	Custo	Benefício	AT1	AT2	AT3	AT5	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12	AT14	AT15	AT16	AT17	AT18	AT19	AT20
43.	Não	19 250	398.131		X	X		X		X			X	X	X		X	X	X
44.	Não	19 450	401.03	X	X	X				X		X	X	X	X		X	X	X
45.	Sim	20 400	416.773	X	X	X		X		X			X	X	X		X	X	X
46.	Sim	21 550	430.35	X	X	X		X		X		X	X	X	X		X	X	X
47.	Não	22 700	432.166	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
48.	Não	23 750	433.13		X	X	X	X		X			X	X	X		X	X	X
49.	Não	23 950	436.029	X	X	X	X			X		X	X	X	X		X	X	X
50.	Não	24 900	451.772	X	X	X	X	X		X			X	X	X		X	X	X
51.	Sim	26 050	465.349	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X		X	X	X
52.	Não	27 200	467.165	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
53.	Não	29 400	476.670	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X
54.	Sim	30 550	490.247	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
55.	Não	31 700	492.063	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
56.	Sim	35 050	498.319	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
57.	Sim	36 200	500.135	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Anexo 6 – Análise de Robustez aos Portefólios Eficientes obtidos pelo software PROBE

	Convexamente Eficiente	Custo	Benefício	Min Custo	Max Custo	Min Benefício	Max Benefício
1.	Sim	0	0	0	0	0	0
2.	Sim	1 150	42.042	1 150	1 150	0	80
3.	Sim	2 300	74.186	2 300	2 300	0	131.663
4.	Sim	3 450	102.229	3 450	3 450	0	182.498
5.	Não	4 400	103.506	4 400	4 400	-20	185.13
6.	Não	4 550	113.161	4 550	4 550	50	161.663
7.	Não	4 600	124.872	4 600	4 600	0	221.745
8.	Não	5 550	131.549	5 550	5 550	-20	227.598
9.	Não	5 700	145.305	5 700	5 700	50	224.997
10.	Não	5 750	149.708	5 750	5 750	29.99	252.943
11.	Não	6 700	154.192	6 700	6 700	-20	266.845
12.	Sim	6 850	173.348	6 850	6 850	50	278.495
13.	Não	7 800	174.625	7 800	7 800	30	278.463
14.	Não	7 850	179.028	7 850	7 850	9.99	298.043
15.	Não	8 000	195.991	8 000	8 000	50	317.743
16.	Não	8 950	202.668	8 950	8 950	30	323.595
17.	Não	9 100	207.503	9 100	9 100	100	304.993
18.	Sim	9 150	220.827	9 150	9 150	79.99	348.94
19.	Não	10 100	225.311	10 100	10 100	30	362.843
20.	Não	10 250	235.547	10 250	10 250	100	360.193
21.	Sim	10 300	243.469	10 300	10 300	79.99	388.188
22.	Não	11 250	250.147	11 250	11 250	59.99	394.04
23.	Não	11 400	258.189	11 400	11 400	100	399.44
24.	Não	11 450	264.2264	11 450	11 450	109.98	410.938
25.	Não	12 350	264.867	12 350	12 350	80	405.293
26.	Não	12 400	272.789	12 400	12 400	59.99	433.288
27.	Não	12 550	283.025	12 550	12 550	127.495	430.638
28.	Sim	12 600	286.869	12 600	12 600	107.49	450.185
29.	Não	13 500	287.509	13 500	13 500	80	444.54
30.	Não	13 550	293.547	13 550	13 550	89.98	456.038
31.	Não	13 700	305.667	13 700	13 700	122.495	469.885
32.	Não	13 750	306.613	13 750	13 750	87.49	495.185
33.	Não	14 650	312.345	14 650	14 650	109.99	475.738
34.	Não	14 700	316.189	14 700	14 700	89.98	495.285
35.	Não	14 850	326.425	14 850	14 850	152.49	492.635
36.	Não	15 800	334.987	15 800	15 800	109.99	514.985
37.	Não	15 850	335.933	15 850	15 850	69.98	540.285

(continua)

	Convexamente Eficiente	Custo	Beneficio	Min Custo	Max Custo	Min Beneficio	Max Beneficio
38.	Sim	16 000	349.067	16 000	16 000	147.49	531.883
39.	Não	16 950	355.745	16 950	16 950	139.98	537.735
40.	Sim	17 150	368.811	17 150	17 150	127.49	576.883
41.	Não	18 100	378.387	18 100	18 100	139.98	576.983
42.	Sim	18 300	387.453	18 300	18 300	122.49	616.13
43.	Não	19 250	398.131	19 250	19 250	119.98	621.983
44.	Não	19 450	401.03	19 450	19 450	102.49	665.233
45.	Sim	20 400	416.773	20 400	20 400	119.98	661.23
46.	Sim	21 550	430.35	21 550	21 550	99.98	710.333
47.	Não	22 700	432.166	22 700	22 700	79.98	730.433
48.	Não	23 750	433.13	23 750	23 750	99.98	688.483
49.	Não	23 950	436.029	23 950	23 950	87.49	731.733
50.	Não	24 900	451.772	24 900	24 900	99.98	727.73
51.	Sim	26 050	465.349	26 050	26 050	79.98	776.833
52.	Não	27 200	467.165	27 200	27 200	59.98	800.062
53.	Não	29 400	476.670	29 400	29 400	99.98	782.978
54.	Sim	30 550	490.247	30 550	30 550	79.98	831.02
55.	Não	31 700	492.063	31 700	31 700	59.98	855.46
56.	Sim	35 050	498.319	35 050	35 050	59.98	871.1
57.	Sim	36 200	500.135	36 200	36 200	39.98	895.54