



Abordagem Integrada de Gestão do Risco em Projetos. Estudo de Caso.

RAFAEL ANDRÉ DOLORES COSTA
(Licenciado em Engenharia de Automação, Controlo e Instrumentação)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:
Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:
Presidente: Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Vogais:
Doutor João Miguel Lemos Chasqueira Nabais
Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Novembro de 2025

Abordagem Integrada de Gestão do Risco em Projetos. Estudo de Caso.

RAFAEL ANDRÉ DOLORES COSTA

(Licenciado em Engenharia de Automação, Controlo e Instrumentação)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Vogais:

Doutor João Miguel Lemos Chasqueira Nabais, Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal
Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Agradecimentos

A elaboração da presente dissertação requereu a colaboração de várias pessoas, a quem gostaria de expressar um agradecimento profundo.

Em primeiro lugar, a toda a minha família, que sempre me deu o devido apoio ao longo destes dois anos.

À minha namorada, que esteve presente nos bons e maus momentos, mostrando uma paciência inesgotável. Foi uma jornada exigente e sem ela, talvez não tivesse este desfecho risonho.

A todos os meus amigos e colegas de trabalho, que sempre me incentivaram a prosseguir estudos para me especializar na área da gestão industrial, o meu agradecimento. Foram fundamentais ao longo deste tempo, sem dúvida.

Um enorme agradecimento ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, que tornou todo este sonho possível, em particular aos professores do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, realçando-se o professor Doutor Vítor Anes, que orientou de forma excecional esta dissertação de mestrado, mostrando uma disponibilidade e empenho notáveis. Também ao professor Doutor António Abreu, que durante estes dois anos sempre nos apoiou nos mais diversos contextos.

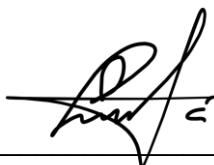
E por fim, mas não menos importante, à empresa onde tenho o prazer de trabalhar, que demonstrou total consideração pelo desenvolvimento da minha formação académica.

A todos, muito obrigado!

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a surname and a small 'E' at the end. The signature is written over a horizontal line.

Lisboa, 28 de novembro de 2025

Abordagem Integrada de Gestão do Risco em Projetos. Estudo de Caso.

Resumo

A tomada de decisão é uma atividade fulcral na gestão de projetos. Decidir bem aumenta as probabilidades de sucesso do projeto, o que, conseqüentemente, se traduz em benefícios para as empresas, nomeadamente através do aumento dos lucros ou do crescimento num determinado mercado.

No processo de tomada de decisão, a gestão do risco assume-se como um pilar fundamental. Sendo este um tema atual e de elevada relevância, tanto no meio académico como empresarial, o presente trabalho aborda a implementação da gestão do risco na gestão de projetos.

O principal objetivo consiste em criar um modelo de gestão do risco que auxilie a equipa de projeto em contextos de incerteza, numa empresa que implementa projetos de eletricidade e instrumentação industrial, colmatando as lacunas identificadas através da formulação de um estudo de caso.

A metodologia adotada baseou-se numa revisão da literatura e na análise de um estudo de caso, permitindo desenvolver o modelo e aplicá-lo ao contexto identificado.

O modelo proposto, assente numa abordagem híbrida entre a *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) e métodos de decisão multicritério (*Fuzzy AHP* e *CoCoSo*), possibilitou uma avaliação qualitativa dos principais riscos dos projetos, procedendo à sua priorização. Para além disso, permitiu uma análise quantitativa através do método *BowTie*, estimando níveis de risco atuais e futuros com base em potenciais respostas, oferecendo à equipa de projeto maior detalhe na análise e mais informação no processo de decisão.

Em termos globais, o trabalho realizado fornece um modelo híbrido de gestão do risco, robusto e adaptável a diferentes projetos e contextos industriais, apresentando-se como um contributo efetivo para a gestão de projetos.

Palavras-Chave: Gestão de Projetos; Gestão do Risco; Avaliação do Risco; FMEA; Análise de Decisão Multicritério (*Fuzzy AHP* e *CoCoSo*); Método *BowTie*.

Integrated Approach to Project Risk Management. Case Study.

Abstract

Decision-making is a key activity in project management. Making sound decisions increases the likelihood of project success, which, in turn, translates into benefits for companies, namely through profit growth or expansion within specific markets.

In the decision-making process, risk management serves as a fundamental pillar. As this is a current and highly relevant topic in both academic and business contexts, the present study addresses the implementation of risk management in project management.

The main objective is to develop a risk management model that supports the project team in uncertain contexts, within a company that carries out electrical and industrial instrumentation projects, thereby addressing the gaps identified through the formulation of a case study.

The methodology adopted was based on a literature review and case study analysis, allowing for the development of the model and its application to the identified context.

The proposed model, grounded in a hybrid approach combining Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and multi-criteria decision-making methods (Fuzzy AHP and CoCoSo), enabled a qualitative assessment of the main project risks, leading to their prioritization. Furthermore, it allowed for a quantitative analysis using the BowTie method, estimating current and future risk levels, based on potential responses, providing the project team with greater analytical detail and more information to support decision-making.

Overall, the work carried out provides a hybrid risk management model that is robust and adaptable to different projects and industrial contexts, presenting itself as an effective contribution to project management.

Keywords: Project Management; Risk Management; Risk Assessment; FMEA; Multi-Criteria Decision Analysis (Fuzzy AHP and CoCoSo); BowTie Method.

Lista de Símbolos e de Siglas

a.C.	Antes de Cristo;
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Analítico Hierárquico)
APM	<i>Association for Project Management</i> (Associação para a Gestão de Projetos)
CI	<i>Consistency Index</i> (Índice de Consistência)
CoCoSo	<i>Combined Compromise Solution</i> (Solução de Compromisso Combinada)
COSO	<i>Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission</i> (Comité de Organizações Patrocinadoras da Comissão Treadway)
CR	<i>Consistency Ratio</i> (Rácio de Consistência)
CVP	Ciclo de Vida do Projeto
D	Detetabilidade
d.C.	Depois de Cristo
EB	Evento Básico
E&I	<i>Electrical and Instrumentation</i> (Eletricidade e Instrumentação)
ETA	Event Tree Analysis (Análise de Árvore de Eventos)
EUA	Estados Unidos da América
FAHP	<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Analítico Hierárquico Difuso)
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise de Modos de Falha e dos seus Efeitos)
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise de Árvore de Falhas)
GR	Gestão do Risco
IPMA	<i>International Project Management Association</i> (Associação Internacional de Gestão de Projetos)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision-Making</i> (Tomada de Decisão Multicritério)
O	Ocorrência
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i> (Corpo de Conhecimento em Gestão de Projetos)
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i> (Diagrama de Blocos de Fiabilidade)

RI	<i>Random Index</i> (Índice Aleatório)
RPN	<i>Risk Priority Number</i> (Número de Risco Prioritário)
S	Severidade
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i> (Ponderação Aditiva Simples)
TFM	Trabalho Final de Mestrado
VUCA	<i>Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity</i> (Volatilidade, Incerteza, Complexidade, Ambiguidade)
WPM	<i>Weighted Product Model</i> (Modelo do Produto Ponderado)

Índice

Agradecimentos	i
Declaração de integridade	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização e Motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Questões de Investigação	4
1.4 Metodologia.....	5
1.5 Estrutura da Dissertação	6
2 Revisão da Literatura	9
2.1 Gestão de Projetos.....	9
2.1.1 <i>Enquadramento Histórico</i>	9
2.1.2 <i>Projetos</i>	11
2.1.3 <i>Relação entre Projetos, Programas e Portefólios</i>	14
2.1.4 <i>Ciclo de Vida do Projeto</i>	15
2.1.4.1 Fases típicas do Projeto Preditivo	16
2.1.5 <i>Gestão do Projeto</i>	18
2.1.5.1 Grupos de Processos.....	18
2.1.5.2 Áreas de Conhecimento.....	20
2.1.6 <i>O Sucesso e as Restrições do Projeto</i>	22
2.1.6.1 Fatores de Sucesso	22
2.1.6.2 Critérios de Sucesso	23
2.1.6.3 Restrições do Projeto	24
2.2 Gestão do Risco.....	26

2.2.1	<i>Enquadramento Histórico</i>	26
2.2.2	<i>Conceito de Risco</i>	28
2.2.3	<i>Gestão do Risco e a sua Importância nas Organizações</i>	29
2.2.4	<i>Gestão do Risco em Projetos</i>	31
2.3	Processo de Gestão do Risco	33
2.3.1	<i>Planeamento</i>	35
2.3.2	<i>Identificação de Riscos</i>	36
2.3.3	<i>Avaliação do Risco</i>	36
2.3.3.1	<i>Avaliação Qualitativa</i>	37
2.3.3.2	<i>Avaliação Quantitativa</i>	38
2.3.4	<i>Tratamento do Risco</i>	39
2.3.4.1	<i>Planear a Resposta</i>	39
2.3.4.2	<i>Implementar a Resposta</i>	40
2.3.5	<i>Monitorização</i>	41
2.4	Técnicas e Ferramentas da Gestão do Risco	42
2.4.1	<i>Técnica Delphi</i>	44
2.4.2	<i>Brainstorming</i>	44
2.4.3	<i>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</i>	45
2.4.4	<i>Lógica e Conjuntos Difusos</i>	47
2.4.4.1	<i>Definição</i>	48
2.4.4.2	<i>Função de pertença triangular</i>	49
2.4.4.3	<i>Variáveis Linguísticas</i>	51
2.4.5	<i>Análise de Decisão Multicritério</i>	52
2.4.5.1	<i>Fuzzy AHP</i>	55
2.4.5.2	<i>Combined Compromise Solution (CoCoSo)</i>	59
2.4.6	<i>Método BowTie</i>	60
2.4.6.1	<i>Árvore de Falhas</i>	62
2.4.6.2	<i>Árvore de Eventos</i>	64
2.4.7	<i>Método de Monte Carlo</i>	65

2.5	Síntese e Análise Crítica	67
3	Estudo de Caso.....	69
3.1	A Empresa e os Projetos	69
3.1.1	<i>Indústrias e Clientes.....</i>	<i>70</i>
3.1.2	<i>Trabalhos de Construção de E&I.....</i>	<i>71</i>
3.2	Identificação e análise do problema industrial.....	73
3.3	Identificação e priorização das causas do problema	75
3.4	Impactos do problema.....	78
3.5	Benefícios ao solucionar o problema identificado.....	78
4	Proposta de Modelo.....	81
4.1	O Modelo	81
4.2	Descrição das Fases Principais	84
4.2.1	<i>Fase 1 - Identificação.....</i>	<i>84</i>
4.2.2	<i>Fase 2 - Cálculo do peso relativo dos critérios.....</i>	<i>85</i>
4.2.3	<i>Fase 3 - Priorização dos modos de falha</i>	<i>86</i>
4.2.4	<i>Fase 4 - Análise BowTie Quantitativa - Estado Atual.....</i>	<i>89</i>
4.2.5	<i>Fase 5 - Análise BowTie Quantitativa - Estado Futuro.....</i>	<i>92</i>
4.3	Alguns Contributos e Limitações do Modelo.....	93
5	Aplicação do Modelo e Análise de Resultados.....	95
5.1	Identificação de situações de risco	97
5.2	Cálculo do Peso Relativo dos Critérios.....	99
5.3	Priorização de modos de falha.....	101
5.4	Análise <i>BowTie</i> Quantitativa – Estado Atual.....	105
5.5	Análise <i>BowTie</i> Quantitativa – Estado Futuro.....	110
6	Conclusões.....	119
6.1	Conclusão.....	119
6.2	Contributos da dissertação	120
6.3	Limitações e Desafios.....	120

6.4	Perspetivas de trabalho futuro	121
	Referências Bibliográficas	123
	Anexos	135

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Metodologia seguida.....	6
Figura 2.1 - Relação entre projeto, produtos/serviços, resultados e benefícios.....	12
Figura 2.2 - Tarefas específicas para a definição de um projeto.....	13
Figura 2.3 - Gestão de projetos organizacional.....	14
Figura 2.4 - Ciclo de Vida típico de um Projeto.....	16
Figura 2.5 - Interações entre os grupos de processos da gestão de projetos.....	20
Figura 2.6 - Triângulo de ferro da gestão de projetos.....	25
Figura 2.7 - Risco e Custo da Mudança ao longo do CVP.....	32
Figura 2.8 - Processo de Gestão do Risco da ISO 31000.....	33
Figura 2.9 - Integração e simplificação dos processos PMBOK e ISO 31000.....	34
Figura 2.10 - Exemplo de uma matriz Probabilidade x Impacto.....	37
Figura 2.11 - Conjunto Crisp (a) e Conjunto Fuzzy (b).....	48
Figura 2.12 - Parâmetros de uma função triangular de um número difuso (P).....	50
Figura 2.13 - Exemplo de variáveis linguísticas e funções de pertinência para a velocidade.....	51
Figura 2.14 - Interseção e comparação entre o número fuzzy M1 e M2.....	57
Figura 2.15 - Exemplo de um Diagrama BowTie.....	61
Figura 2.16 - Exemplo de uma árvore de falhas.....	62
Figura 2.17 - RBD - Sistema em série (a) e sistema em paralelo (b).....	63
Figura 2.18 - Exemplo de uma árvore de eventos aplicada a um cenário de aproximação simultânea entre um comboio e um carro.....	65
Figura 3.1 - Instalação industrial no setor petroquímico.....	70
Figura 3.2 - Tipo de estrutura contratual / organização dos projetos.....	71
Figura 3.3 - Exemplo de caminho de cabos metálico.....	72
Figura 3.4 - Exemplo de instrumentos - Transmissores de Pressão.....	73
Figura 3.5 - Diagrama de Ishikawa desenvolvido com colaboração de especialistas.....	77
Figura 4.1 - Overview das principais fases do modelo, técnicas e ferramentas associadas.....	82
Figura 4.2 - Fluxograma ilustrativo do modelo.....	83
Figura 4.3 - Arquitetura da Fase 1.....	84
Figura 4.4 - Arquitetura da Fase 2.....	86
Figura 4.5 - Arquitetura Fase 3 – Exemplo de definição da matriz de decisão individual do especialista 1.....	88
Figura 4.6 - Arquitetura Fase 3 - Matriz de decisão agregada e desfuzificada.....	88

Figura 4.7 - Critérios de benefício e custo.....	89
Figura 4.8 - Simulação de Monte Carlo aplicada à FTA e ETA.....	91
Figura 5.1 - Frequência de respostas sobre as situações com maior impacto negativo.	98
Figura 5.2 - BowTie do estado atual.....	107
Figura 5.3 - BowTie do estado futuro.....	112
Figura 5.4 - Variação da probabilidade no Custo.....	116
Figura 5.5 - Variação da probabilidade no Tempo.....	116
Figura 5.6 - Variação da probabilidade no Âmbito.....	117
Figura 5.7 - Variação da probabilidade na Qualidade	117

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Características de um projeto.....	12
Tabela 2.2 - Fases, etapas e passos que caracterizam o CVP.....	17
Tabela 2.3 - Principais diferenças entre Gestão de Projetos e Gestão Geral.....	18
Tabela 2.4 - Fatores Críticos de Sucesso.....	23
Tabela 2.5 - Critérios de Sucesso.....	24
Tabela 2.6 - Definições e interpretações de "risco" ao longo dos anos.	28
Tabela 2.7 - Alguns tipos de risco que influenciam uma organização.....	30
Tabela 2.8 - Estratégias face ao risco e as suas dimensões comuns	39
Tabela 2.9 - Técnicas e Ferramentas da Gestão do Risco.	42
Tabela 2.10 - Aplicabilidade de técnicas e ferramentas da Gestão do Risco.....	43
Tabela 2.11 - Exemplo de uma escala típica (0-10) de classificação para a Severidade, Ocorrência e Detetabilidade.	46
Tabela 2.12 - Vários métodos MCDM.....	53
Tabela 2.13 - Valor de RI em função da dimensão da matriz.	58
Tabela 3.1 - Alguns dos fatores de risco identificados.....	74
Tabela 3.2 - Priorização de causas do problema	76
Tabela 4.1 - Escala de importância relativa entre critérios (S,O,D) considerando o termo linguístico e respetivo valor fuzzy.....	86
Tabela 4.2 - Termos Linguísticos para avaliar os critérios/variáveis Severidade, Ocorrência e Detetabilidade.....	87
Tabela 4.3 - Escala de avaliação dos impactos nas quatro vertentes do projeto	91
Tabela 4.4 - Resumo dos principais objetivos, inputs e outputs de cada fase do modelo	93
Tabela 5.1 - Questionários realizados e os seus objetivos específicos.....	96
Tabela 5.2 - Último envolvimento dos especialistas em projetos em África.....	96
Tabela 5.3 - Situações com impactos negativos identificadas pelos especialistas após eliminação de contribuições repetidas.....	97
Tabela 5.4 - Nove principais situações e respetivo modo de falha.	99
Tabela 5.5 - Comparação par a par (fuzzy) agregada.	99
Tabela 5.6 - Cálculos intermédios para obtenção da medida sintética	100
Tabela 5.7 - Cálculo da medida sintética	100
Tabela 5.8 - Comparação dos graus de possibilidade.....	100

Tabela 5.9 - Pesos normalizados.....	100
Tabela 5.10 - Matriz de comparação par-a-par desfuzificada.	101
Tabela 5.11 - Verificação da consistência através do CR	101
Tabela 5.12 - Valores das classificações após agregação e desfuzificação	102
Tabela 5.13 - Matriz de decisão.....	102
Tabela 5.14 - Matriz de decisão normalizada	103
Tabela 5.15 - Soma da sequência ponderada.....	103
Tabela 5.16 - Soma da sequência da potência ponderada.....	103
Tabela 5.17 - Obtenção do Ranking CoCoSo	104
Tabela 5.18 - Ranking CoCoSo ordenado	104
Tabela 5.19 - Cálculo da probabilidade do Evento de Topo aplicando MCS.....	108
Tabela 5.20 - Cálculo da probabilidade de cada ramo da árvore de eventos	109
Tabela 5.21 - Agregação de probabilidades por nível de impacto nas dimensões Custo, Tempo, Âmbito e Qualidade – Estado Atual	109
Tabela 5.22 - Probabilidade do Evento de Topo após a atualização do BowTie.....	113
Tabela 5.23 - Probabilidades dos cenários após a atualização do BowTie.....	113
Tabela 5.24 - Agregação das probabilidades pelo nível de impacto	114
Tabela 5.25 - Variação da probabilidade após as barreiras propostas por cada nível impacto	115
Tabela 5.26 - Nível Risco - Estado Atual vs. Futuro.....	118

1 Introdução

No capítulo atual, faz-se a apresentação da presente dissertação de mestrado, inserida no contexto da Engenharia e Gestão Industrial. Este capítulo está organizado em quatro subcapítulos. O primeiro, subcapítulo 1.1, apresenta a contextualização e motivação da dissertação. No subcapítulo 1.2, são apresentados os objetivos gerais e específicos, bem como contributos esperados. No subcapítulo 1.3. são definidas as questões de investigação, às quais se pretende dar resposta. É apresentada a metodologia adotada ao longo da dissertação, no subcapítulo 1.4. Finaliza-se apresentando a estrutura de organização do presente documento, no subcapítulo 1.5.

A presente dissertação tem por base o tema da gestão do risco em projetos industriais. Trata-se de um tema particularmente relevante face ao contexto atual das organizações, em que a crescente complexidade e incerteza do ambiente empresarial reforçam a importância de práticas estruturadas de gestão do risco, essenciais para apoiar a tomada de decisão, promover o sucesso dos projetos e, conseqüentemente, a competitividade e a sustentabilidade organizacional. Neste sentido, no subcapítulo seguinte, procede-se à contextualização do tema e apresenta-se a motivação que sustenta a realização do presente trabalho.

1.1 Contextualização e Motivação

O cenário atual nos negócios e nas organizações é caracterizado por ser altamente competitivo, com um crescente dinamismo e complexidade, resultantes da globalização, mas também da instabilidade política, económica e social vivida a nível mundial.

Assim, tanto as organizações como os projetos que estas executam estão de certa forma inseridos no denominado ambiente VUCA (*Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity*) (Kendrick, 2024). Nesse contexto, as organizações devem tornar-se cada

vez mais competitivas e sustentáveis através de aquisição de competências e utilização de ferramentas que lhes permitam lidar com a incerteza.

A referida incerteza pode ser entendida por um estado (ainda que parcial) onde a informação e conhecimento sobre um dado evento são limitados. Sendo que o verdadeiro problema ocorre quando a incerteza afeta a obtenção dos objetivos organizacionais, transformando-se num risco a partir desse momento (ISO, 2018).

Neste sentido, a gestão do risco tem vindo a ser cada vez mais um tema de relevância tanto no meio académico, como nas organizações, caracterizando-se por ser um conjunto de atividades bem coordenadas, onde se incluem a identificação, avaliação e subsequente tratamento dos riscos.

As organizações que aplicam a gestão do risco evitam “empurrar” os seus problemas na esperança que desapareçam ou eventualmente que, mais cedo ou mais tarde, surja uma qualquer solução fácil para os resolver (Kerzner, 2018). Neste sentido, as empresas começaram a ver a gestão do risco, como um alicerce fundamental à tomada de decisões que conseqüentemente se repercutem, contribuindo para a criação de valor e viabilidade no longo prazo, isto é, para a sustentabilidade organizacional.

No contexto dos projetos, o simples facto de não existir um igual a outro, torna-o envolto em incerteza (Turner, 2005). Assim, a transversalidade da gestão do risco na organização deve fazer-se sentir também nos projetos, sendo um elemento fundamental para o sucesso dos mesmos. Pode ajudar a evitar grandes falhas, como desvios nos custos, prazos ou quando não entregam o valor pretendido. Além disso, permite identificar oportunidades de forma a contribuir positivamente para os resultados do projeto (Hillson, 2023).

Esta ideia é reforçada por entidades como o PMI (Project Management Institute) que, através do guia de conhecimento PMBOK (Project Management Body Of Knowledge), define a gestão do risco como uma das dez áreas de conhecimento fundamentais que integram a gestão do projeto.

Assim, a principal motivação que conduz ao desenvolvimento da presente dissertação consiste em oferecer um contributo efetivo para a gestão de projetos, em particular nos projetos da construção de eletricidade e instrumentação executados por uma empresa portuguesa no contexto industrial africano, de forma a tornar mais robusta a tomada de decisão perante potenciais situações de risco. Estes projetos assumem um papel fundamental a nível global, pois impulsionam o desenvolvimento industrial, promovem

a automatização de processos, a descarbonização, o aumento da eficiência energética e a transição para fontes de energia renováveis.

Face ao ambiente VUCA, caracterizado pela volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade, os projetos realizados em África enfrentam desafios acrescidos, resultantes de fatores como instabilidade política, limitações infraestruturais e escassez de recursos técnicos. A inexistência de um modelo estruturado de gestão do risco agrava esses desafios, conduzindo a decisões reativas e a desvios nos custos e prazos. Assim, a presente dissertação procura responder a essa problemática, propondo uma abordagem que fortaleça a gestão do risco e apoie a tomada de decisão, contribuindo para o sucesso dos projetos desenvolvidos nesse contexto.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo geral desenvolver um modelo estruturado de apoio à tomada de decisão na gestão de projetos, com base na gestão do risco. Desta forma, espera-se, com esta investigação, colmatar lacunas identificadas em organizações que executam projetos de eletricidade e instrumentação industrial, evidenciadas através da formulação de um estudo de caso. Essas lacunas resultam, sobretudo, da ausência de uma abordagem metodológica e sistemática que suporte a tomada de decisão em projetos sujeitos a elevados níveis de incerteza.

Como objetivos específicos, o estudo visa dotar a empresa da capacidade de identificar as situações de risco e avaliar esses riscos recorrendo a abordagens qualitativas, que permitam priorizar os riscos, e quantitativas, que possibilitem estimar o nível de risco e definir respostas adequadas em cada situação.

No que respeita aos contributos esperados, o trabalho procura oferecer um benefício prático às organizações deste setor, uma vez que a gestão eficaz do risco permite aumentar a probabilidade de sucesso dos projetos e gerar maior valor para a organização e para os diferentes *stakeholders*, incluindo o cliente. Paralelamente, espera-se sensibilizar as empresas para a importância da gestão do risco como elemento fundamental da gestão de projetos.

O modelo que se pretende deve ser adaptável a diferentes projetos e contextos organizacionais, podendo constituir um contributo relevante não apenas para a empresa analisada, mas também para outras da mesma área de atuação.

1.3 Questões de Investigação

A presente dissertação tem algumas questões base que apresentam o ponto de partida para o seu desenvolvimento e que, formuladas com base nos objetivos definidos, procuram orientar o estudo de forma lógica e coerente. Cada questão aborda uma dimensão específica do problema identificado, desde a identificação do risco e da sua avaliação qualitativa e quantitativa, até à análise dos benefícios práticos da aplicação do modelo proposto. Assim, estas cinco questões estão diretamente alinhadas com o objetivo principal do trabalho, que consiste no desenvolvimento de um modelo de apoio à tomada de decisão na gestão de projetos industriais, com base na gestão do risco.

Antes de mais, é importante entender como se poderá identificar e proceder a uma triagem das situações de risco, com base na experiência e no conhecimento dos especialistas na área que permitem identificar previamente muitas das situações que podem ocorrer durante a implementação de projetos industriais de construção de eletricidade e instrumentação. Seguindo esta lógica, apresenta-se a primeira questão de investigação (Q1):

Q1 – Qual seria a forma mais eficaz de identificar as situações de potencial risco em projetos de construção de eletricidade e instrumentação, com base no conhecimento de especialistas?

A tomada de decisão durante a implementação de projetos pode ser sustentada com base na análise do risco, sendo a priorização dos mesmos fundamental para compreender quais merecem o tratamento prioritário e aos quais devem ser alocados mais recursos. O FMEA é uma das ferramentas mais utilizadas no meio industrial, que permite abordar o risco qualitativamente, contudo, as suas limitações são vastamente conhecidas e muito discutidas na literatura. É assim estabelecida a segunda questão (Q2):

Q2 – Pode um modelo combinando FMEA, Modelos de Decisão Multicritério e Conjuntos Difusos contribuir de forma efetiva para a avaliação qualitativa do risco nos projetos de eletricidade e instrumentação?

Para além de uma avaliação qualitativa, os riscos mais críticos ao projeto podem também requerer que seja seguida uma abordagem quantitativa. Sendo o *BowTie* um dos métodos mais completos de gestão do risco, abordando-o segundo uma perspetiva de prevenção, mas também de mitigação, importa saber quais seriam os benefícios da sua aplicação prática na análise quantitativa do risco em projetos de eletricidade e instrumentação. Assim, a terceira pergunta de investigação (Q3) será:

Q3 – Poderá a análise *BowTie* contribuir para uma abordagem de avaliação do risco quantitativa em projetos de eletricidade e instrumentação industrial, permitindo uma avaliação das probabilidades e consequências no projeto?

Para além da análise de risco descrever o estado atual, perspetivar o comportamento do risco com base em futuras respostas, poderá ser um grande alicerce à tomada de decisões perante a situação de risco. Assim, a quarta questão (Q4) é:

Q4 – De que forma, para além de descrever o estado atual, é possível fazer uma perspetiva do risco, em termos de probabilidade e impacto, após a implementação de potenciais respostas, preventivas ou mitigadoras?

Os objetivos estabelecidos, que se pretendem alcançar com a realização do projeto, podem ser postos em causa pelos riscos que surgem. Caso o modelo proposto seja implementado, interessa verificar quais serão os seus benefícios efetivos nos objetivos do projeto, como realça a quinta questão (Q5):

Q5 – Quais seriam os benefícios práticos, para os objetivos do projeto, de um modelo de apoio à tomada de decisão, baseado na gestão do risco?

As questões de investigação são tratadas e progressivamente respondidas ao longo dos capítulos seguintes, sendo alvo de resposta direta e consolidada no capítulo de conclusão do presente documento.

1.4 Metodologia

Na elaboração do presente trabalho, a metodologia passou, numa primeira fase, por realizar uma revisão da literatura. A revisão da literatura consistiu globalmente em quatro fases:

- Identificação de fontes enquadradas com o tema;
- Seleção de documentação de qualidade e relevância;
- Análise na íntegra da documentação selecionada;
- Documentação da informação relevante para a dissertação.

Simultaneamente, procedeu-se à formulação do estudo de caso, que consiste na descrição do problema identificado no âmbito da gestão do risco nos projetos de uma empresa portuguesa que executa projetos de eletricidade e instrumentação industrial. Para definir com clareza o problema, as suas causas e consequências, e as áreas de

intervenção atualmente mais críticas, foi realizado um *brainstorming* inicial com especialistas na gestão de projetos da empresa.

A adoção de um estudo de caso foi a abordagem escolhida nesta dissertação, pois considera-se ser aquela que melhor permite realizar uma análise real, detalhada e contextualizada sobre a gestão do risco em projetos. Esta abordagem permite não só ilustrar os problemas, mas também as respetivas soluções no contexto de cenários concretos.

Tendo como base o estudo de caso e os conceitos analisados na revisão da literatura, foi proposto um modelo de gestão do risco que dá resposta ao problema identificado no estudo de caso, servindo de apoio à gestão do projeto.

Posteriormente, aplicou-se o modelo proposto no contexto do estudo de caso. Para a obtenção de *inputs*, realizaram-se três questionários e um *brainstorming* final, que culminou na obtenção e análise dos resultados.

Numa fase final, foram enumeradas as principais conclusões a retirar do trabalho desenvolvido. Respondeu-se objetivamente às questões de investigação formuladas no subcapítulo 1.3, e para além disso fez-se uma perspetiva de trabalhos futuros a desenvolver no seguimento da dissertação, identificando-se limitações e contributos.

A Figura 1.1 ilustra esquematicamente a metodologia seguida.

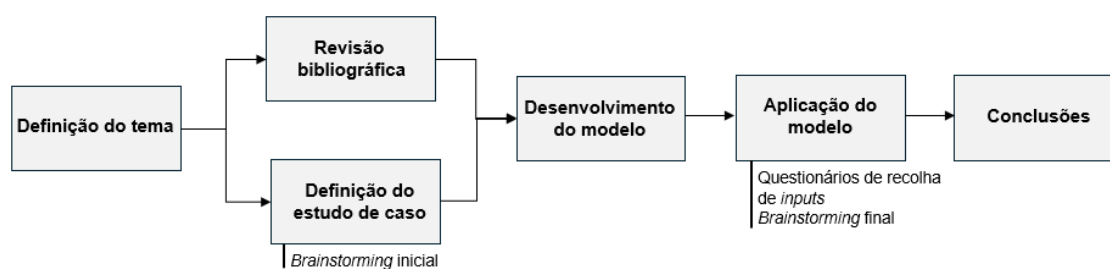


Figura 1.1 - Metodologia seguida

1.5 Estrutura da Dissertação

Quanto à estrutura, o presente documento divide-se em seis capítulos.

O capítulo 1 – Introdução: é um capítulo introdutório, onde se faz o enquadramento e se enaltece a relevância do tema, apresentam-se os objetivos propostos, as metodologias adotadas e a estrutura do documento.

O capítulo 2 – Revisão da Literatura: aborda os conceitos teóricos investigados que servem de base à dissertação. Neste capítulo, apresentam-se os principais conceitos e definições enquadrados na gestão de projetos, na gestão do risco e na aplicação da gestão do risco à gestão de projetos.

O capítulo 3 – Estudo de Caso: apresenta um estudo de caso real de uma empresa que executa projetos de construção de eletricidade e instrumentação industrial.

O capítulo 4 – Proposta de Modelo: é apresentado um modelo que visa apoiar a gestão de projetos no que respeita à gestão dos riscos do projeto, através de abordagens não só qualitativas, mas também quantitativas.

O capítulo 5 – Aplicação do Modelo e Análise de Resultados: a proposta de melhoria feita através do modelo proposto é aplicada ao estudo de caso e são analisados os resultados obtidos.

O capítulo 6 – Conclusões: apresentam-se as conclusões, tanto específicas como gerais, obtidas ao longo da dissertação, bem como os principais contributos e limitações do trabalho desenvolvido. São ainda definidos aspetos a desenvolver em trabalhos futuros no seguimento da presente dissertação.

O presente documento conta também com quinze anexos, onde são expostos conteúdos que complementam as temáticas abordadas e que são de interesse para o leitor, de forma a proporcionar uma melhor compreensão das mesmas.

O capítulo seguinte apresenta o enquadramento teórico necessário à compreensão do modelo proposto, destacando a relação entre a vertente teórica e a prática.

2 Revisão da Literatura

A presente revisão da literatura visa identificar e analisar conceitos fundamentais, lacunas metodológicas e as boas práticas existentes de forma a sustentar a criação do modelo híbrido de gestão do risco apresentado posteriormente nesta dissertação.

A pesquisa efetuada tem por base, maioritariamente, artigos de revista científica identificadas em bases de dados como a Web of Science, Google Scholar, B-on, IEEE Xplore, Scopus e ScienceDirect. No processo de pesquisa foram utilizados conceitos como “gestão do risco”, “gestão de projeto”, “gestão de riscos em projetos”, “técnicas e ferramentas da gestão do risco”. Para além de artigos de revista científica, foi também obtida informação através da análise de livros e normas internacionais sobre gestão do risco e gestão de projetos.

Quanto à documentação consultada, deu-se prioridade à mais recente de forma que, para além da informação ser relevante, seja atual. O contrário apenas acontece quando a análise de determinado conceito assim o exija.

Quanto à organização da revisão, encontram-se cinco subcapítulos: O primeiro, subcapítulo 2.1, relativo à gestão de projetos, o subcapítulo 2.2, relativo à gestão do risco e um terceiro (2.3) que aborda o processo de gestão do risco. O subcapítulo 2.4 refere-se às técnicas e ferramentas da gestão do risco, com especial enfoque naquelas utilizadas no âmbito da dissertação. O subcapítulo 2.5 apresenta uma análise crítica tendo por base os conteúdos desenvolvidos nos subcapítulos anteriores.

2.1 Gestão de Projetos

2.1.1 Enquadramento Histórico

Ao longo da história da humanidade, sempre existiram projetos. Estes são propulsores de mudanças e realizados como forma de responder às mudanças que ocorrem no

mundo. A evidência de projetos ao longo da história pode ser observada em vários artefactos históricos, construções impactantes e também em melhorias culturais (Cleland, 2004; Seymour & Hussein, 2014).

Sankaran *et al.* (2021) refere que existe um vasto número de projetos da antiguidade conhecidos até à atualidade. Construções impactantes que marcaram a história desde o ano 2100 antes de Cristo (a.C) até 1940 depois de Cristo (d.C). Trata-se de um período que antecede a gestão de projetos como ciência ou profissão, tal como é reconhecida atualmente. Tal evidencia que se trata de uma prática antiga. Entre os referidos projetos encontram-se (Sankaran *et al.*, 2021):

- 2100 a.C. – Grande Zigue de Ur;
- Cerca de 600 a.C. – Torre e Jardins Suspensos da Babilónia;
- 2580–2560 a.C. – Pirâmide de Gizé;
- 477–438 a.C. – Partenon (Grécia);
- 70–82 d.C. – Coliseu de Roma;
- 1506–1626 d.C. – Basílica de São Pedro;
- 1661–1720 d.C. – Palácio de Versalhes;
- 1887–1889 d.C. – Torre Eiffel;
- 1904–1914 d.C. – Canal do Panamá;
- 1929–1931 d.C. – *Empire State Building*;
- 1931–1935 d.C. – Barragem Hoover.

Só mais tarde, já na década de 1950, surgiu a necessidade de formalizar a gestão de projetos como disciplina, com as organizações a dar os primeiros passos na aplicação de ferramentas e técnicas emergentes na gestão de projetos (Seymour & Hussein, 2014). No final da década, nos Estados Unidos da América (EUA), esta disciplina começa efetivamente a desenvolver-se com especial foco no setor aeroespacial e na defesa (Kerzner, 2018).

Na década de 1960, surgem as primeiras associações internacionais de gestão de projetos, como a International Project Management Association (IPMA) e o Project Management Institute (PMI), e surge também nesta altura o conceito do *golden triangle* de Martin Barnes que expõe a relação entre as principais restrições de um projeto. Esta década, entre outros, ficou marcada por projetos como o Apollo 11 e a Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET) (Carvalho & Bernardo, 2023).

Após a década de 1970 um vasto número de empresas começou a adotar a gestão de projetos inspiradas em organizações que se encontravam na vanguarda da disciplina.

Nos EUA, a NASA e o Departamento de Defesa Americana tiveram forte peso na mudança das práticas até então estabelecidas, visto que pressionavam os seus subcontratados a adotar práticas de gestão de projetos que até então não eram utilizadas (Kerzner, 2025).

A década de 1980 também foi de elevada importância visto que ficou marcada pela introdução de práticas de gestão do risco em projetos (Carvalho & Bernardo, 2023).

A partir, sobretudo da década 1990, a gestão de projetos deixou de ser uma opção e passou a ser vista como uma necessidade para as organizações que pretendem ser ou se manter-se competitivas num determinado mercado (Kerzner, 2025).

2.1.2 Projetos

Na literatura, diferentes entidades apresentam diferentes definições e descrições sobre o que é um projeto, nomeadamente:

- O PMBOK, do PMI, refere que um projeto pode ser entendido como um esforço temporário realizado de forma a criar um produto, um serviço ou um resultado único. A sua natureza temporária indica que o projeto tem, à partida uma data de início e de fim definida, podendo também referir-se a uma fase específica de trabalho (PMI, 2017).
- Para a norma ISO 21500:2012, um projeto consiste num conjunto (único) de processos que correspondem a atividades coordenadas e controladas, com datas de início e de fim, realizadas de forma a garantir que os objetivos do projeto sejam alcançados (ISO, 2012).
- Para o IPMA, o projeto é um esforço único, temporário, multidisciplinar e organizado, realizado de forma a dar origem a entregáveis de acordo com os requisitos e restrições pré-definidos (IPMA, 2015).
- A Association for Project Management (APM) destaca o projeto como um empreendimento, caracterizado por um carácter transitório, com vista a gerar mudanças e atingir os objetivos delineados (APM, 2019).
- Para a metodologia de gestão de projetos PM², desenvolvida pela Comissão Europeia, um projeto pode ser visto como uma estrutura organizacional (temporária) criada para produzir um produto ou serviço único dentro de certas restrições, como tempo e custo estabelecidos e um determinado nível de qualidade (European Commission, 2023).

Assim, observa-se que, apesar das diferentes definições apresentadas por entidades como PMI, ISO, IPMA ou APM, não serem iguais, acaba por existir uma complementaridade das perspetivas sobre o que é um projeto.

Uma das características mais relevantes dos projetos é a sua unicidade, isto é, apesar de poderem existir semelhanças, não existem projetos iguais. As diferenças podem verificar-se em fatores como (ISO, 2020): objetivos; contexto; resultados desejados; entregáveis fornecidos pelo projeto; as partes interessadas impactadas; os recursos utilizados; complexidade; restrições; processos ou métodos utilizados.

Miguel (2024), apresenta algumas características que fazem parte de uma possível definição de projeto analisando-as separadamente. Essas características são referidas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Características de um projeto.

Características do projeto	Descrição
Sequência de atividades	Sequência determinada com base nos requisitos técnicos do projeto.
Atividades únicas	Circunstâncias que nunca aconteceram anteriormente nem se repetirão de forma igual no futuro.
Atividades interligadas	O <i>output</i> de uma atividade é <i>input</i> de outra.
Um objetivo	Pode ser único, contudo há projetos que, pela sua complexidade, podem ser divididos em subprojectos com objetivos próprios.
Produto ou serviço único	Que antes não existia, ou apresenta diferenças (<i>design</i> , materiais, entre outras).
Num certo período	O projeto tem uma data de conclusão que pode ser definida pela gestão ou imposta pelo cliente.
Orçamento limitado	Recursos limitados, como pessoas, equipamentos e dinheiro.
Segundo uma especificação	É esperado um nível de funcionalidade e qualidade por parte do cliente.

Fonte: Adaptado de Miguel (2024)

Como referido, os entregáveis do projeto são produtos ou serviços que introduzem mudança, levando a um determinado resultado. Os benefícios são as melhorias (mensuráveis) provenientes desse resultado (European Commission, 2023). A Figura 2.1 ilustra a relação lógica entre projeto, produtos/serviços, resultados e benefícios.



Figura 2.1 - Relação entre projeto, produtos/serviços, resultados e benefícios.

Fonte: Adaptado de European Commission (2023)

Ward e Chapman (2011) referem que a definição de um projeto deve obedecer a um processo estruturado composto por tarefas específicas. A Figura 2.2 ilustra o processo referido.

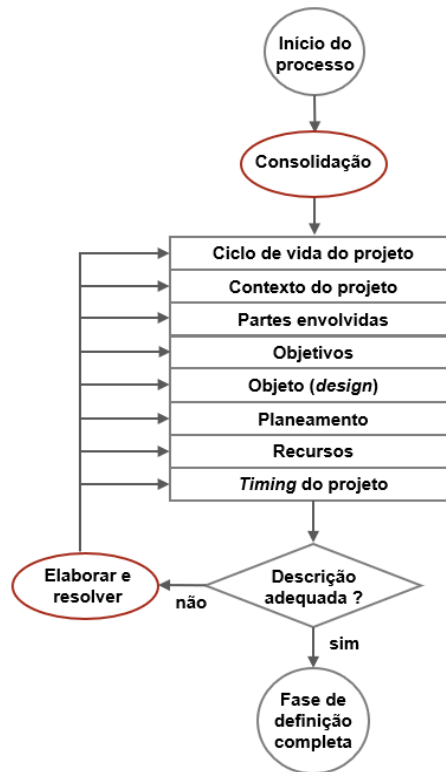


Figura 2.2 - Tarefas específicas para a definição de um projeto.

Fonte: Adaptado de Ward e Chapman (2011)

Este processo tem por base duas tarefas específicas: a primeira é a “consolidação”, que visa reunir e integrar informações pertinentes sobre o projeto e a forma de gestão do mesmo. A segunda tarefa é “elaborar e resolver” e tem como foco preencher lacunas descobertas no processo de consolidação. A consolidação é feita com base em oito etapas, em que a primeira corresponde à definição do ciclo de vida do projeto e as seguintes correspondem às respostas ao que os autores denominam por “7 W” (Ward & Chapman, 2011):

1. **Where** (Onde) – Qual a localização e o contexto?
2. **Who** (Quem) – Quem são as partes envolvidas no projeto?
3. **Why** (Porquê) – Quais os objetivos do projeto?
4. **What** (O quê) – Qual é o entregável/objeto que se pretende?
5. **Whichway** (De que forma) – Como deve ser feito?
6. **Wherewithal** (Com o quê) – Com que recursos?
7. **When** (Quando) – Quando deve ocorrer?

Da resposta às sete questões resulta, respetivamente, o conhecimento sobre a localização e o contexto onde se realizará o projeto, os envolvidos, os seus objetivos, o entregável (objeto) do projeto, as várias tarefas a desenvolver (planeamento), os recursos necessários e o cronograma de execução.

2.1.3 Relação entre Projetos, Programas e Portefólios

Nas organizações, os projetos podem ser independentes ou estar inseridos em programas e portefólios (PMI, 2017). Um programa pode ser composto por projetos, subprogramas e atividades, que pela sua natureza e inter-relação, são geridos de forma coordenada, levando a que se obtenham benefícios, que por si só, não seriam possíveis. Um projeto pode não fazer parte de um programa, mas o contrário não se verifica, visto que os programas são sempre compostos por projetos (PMI, 2017, 2023).

Já os portefólios correspondem ao conjunto dos projetos, programas e operações que são geridos de forma comum, de modo a irem ao encontro dos objetivos estratégicos pretendidos. Os projetos ou programas num portefólio não são necessariamente interdependentes nem inter-relacionados (Mohagheghi *et al.*, 2019; PMI, 2023).

A gestão de projetos, programas e portefólios, difere na forma como cada dimensão contribui para os objetivos estratégicos definidos pelas organizações. A gestão de portefólio está particularmente alinhada com a estratégia, na medida em que permite escolher os projetos e programas adequados, assegurar os recursos e priorizar o trabalho. Por sua vez, a gestão de programas tem como objetivo combinar os projetos e componentes e controlar as interdependências de forma a obter benefícios específicos (Miguel, 2024). A Figura 2.3 mostra a relação entre a estratégia, o portefólio, programas e projetos e as operações.



Figura 2.3 - Gestão de projetos organizacional.

Fonte: Adaptado de Miguel (2024)

2.1.4 Ciclo de Vida do Projeto

Segundo o *PMBOK Guide*, o ciclo de vida do projeto (CVP) descreve a totalidade das fases pelas quais este passa, desde o início até ao seu término. Por sua vez, uma fase corresponde a um conjunto de atividades do projeto relacionadas de forma lógica, que culminam na conclusão de um ou mais entregáveis (PMI, 2017). O tipo de entregáveis de um projeto define a sua abordagem de desenvolvimento, isto é, a forma como o projeto pode ser desenvolvido. Existem tipicamente três abordagens, nomeadamente: a abordagem preditiva, a adaptativa e a híbrida (Miguel, 2024).

A **abordagem preditiva** é a mais indicada quando os requisitos do projeto e do produto são determinados no início, bem como o âmbito, o custo, a duração, as necessidades de recursos e os riscos são identificados. Assim, reduz-se o nível de incerteza e favorece-se o planeamento desde os estágios iniciais do projeto (PMI, 2017). Pode ser referida como abordagem tradicional, em cascata ou “*plan-driven*” (Silvius-Zuchi & Silvius, 2024).

A **abordagem adaptativa** é adequada quando existe um elevado nível de incerteza no projeto, em que os requisitos não são claros ou estão sujeitos a alterações no seu decurso (PMI, 2017). Cria um processo de desenvolvimento iterativo com ciclos curtos, em que o foco está no desenvolvimento de incrementos do produto, exigindo um planeamento *just-in-time* (Silvius-Zuchi & Silvius, 2024).

A **abordagem híbrida** combina a abordagem adaptativa e preditiva. Aqueles elementos que são bem conhecidos, ou têm requisitos fixos, seguem um ciclo de vida de desenvolvimento preditivo, enquanto aqueles que ainda são evolutivos seguem uma abordagem adaptativa (Miguel, 2024).

Tanto a abordagem preditiva como a adaptativa têm as suas qualidades e aplicabilidade. No entanto, muitas vezes, a combinação de ambas (abordagem híbrida) pode ser a abordagem ideal, sendo o gestor de projeto que deve avançar para uma decisão informada sobre modo como o projeto será abordado (Silvius-Zuchi & Silvius, 2024).

A cadência de entrega refere-se ao momento e à frequência das entregas, sendo influenciada tanto pelo tipo de entregável como pela abordagem de desenvolvimento. Pode ser do tipo entrega única (produto único entregue no final do projeto), múltiplas entregas (em diferentes momentos do projeto) e, ainda, entregas periódicas (entregas múltiplas que seguem um cronograma fixo) (Miguel, 2024).

2.1.4.1 Fases típicas do Projeto Preditivo

Apesar de os projetos variarem, de forma substancial, quanto à complexidade e dimensão, um projeto preditivo típico apresenta uma estrutura básica de ciclo de vida composta por quatro fases genéricas (Barrett, 2024; Hopkin, 2017; Miguel, 2024):

- Fase 1 – Início;
- Fase 2 – Organização e planeamento;
- Fase 3 – Execução;
- Fase 4 – Encerramento.

As duas fases iniciais caracterizam-se por um nível de esforço baixo, mas que aumenta consideravelmente na fase final do planeamento, elevando os custos e os recursos utilizados. Na fase de execução, é quando efetivamente se desenvolve o trabalho anteriormente planeado; o nível de custos e de recursos atinge o seu pico. Por fim, a fase de conclusão caracteriza-se por uma redução dos recursos utilizados e pela entrega do projeto ao cliente. Figura 2.4 ilustra o nível de recursos e custos ao longo do projeto.



Figura 2.4 - Ciclo de Vida típico de um Projeto.

Fonte: Adaptado de PMI (2017)

Tipicamente, as fases são concluídas de forma sequencial, embora, em algumas situações, possam ser iterativas ou sobrepostas. Cada fase é caracterizada pela conclusão e aprovação de um ou mais entregáveis, que podem corresponder ao processo de gestão do projeto, ao produto final ou, ainda, a componentes deste. No final de cada fase, existe um ponto de controlo/decisão, que tem como objetivo a reavaliação,

de forma a prosseguir, proceder a alterações ou, em último caso, cancelar o projeto (Miguel, 2024).

Chapman e Ward (2003) apresentam, de forma detalhada, as quatro fases, denominando a fase de início como **conceptualização**. Dentro das fases, são apresentadas as principais etapas e os passos que as caracterizam, como se observa na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Fases, etapas e passos que caracterizam o CVP.

Fases do CVP	Etapas	Passos
Conceptualização	Conceber o produto	Evento impulsionador (<i>trigger event</i>) Captação do conceito Clarificação dos objetivos Elaboração do conceito Avaliação do conceito
Planeamento	Projetar o produto estrategicamente	Projeto Base Desenvolvimento de critérios de performance Projeto de detalhe Avaliação do projeto
	Planear a execução estrategicamente	Atividades base e planeamento de recursos Desenvolvimento de metas e objetivos Desenvolver planificação Avaliação da planificação
	Alocar os recursos taticamente	Atividades base e planeamento de recursos Desenvolvimento dos critérios de alocação Alocação dos recursos Avaliação da alocação
Execução	Executar a produção	Coordenação e supervisão Monitorização do progresso Reajustamento das metas e objetivos Reajustamento da alocação de recursos Avaliação da supervisão
Conclusão	Entregar o produto	Verificação da entrega Modificação da entrega Ajuste aos critérios de performance Avaliação de entrega
	Rever o processo	Revisão básica Desenvolvimento da revisão Avaliação da revisão
	Suportar o produto	Manutenção básica e perceção de fiabilidade Desenvolvimento de critérios de manutenção Desenvolvimento da perceção de manutenção Avaliação da manutenção

Fonte: Adaptado de Chapman e Ward (2003)

2.1.5 Gestão do Projeto

O PMBOK refere a gestão de projetos como a aplicação de conhecimentos, competências, técnicas e ferramentas às diversas atividades do projeto, de forma a entregar os resultados pretendidos de maneira eficaz e eficiente (PMI, 2017).

A ISO, através da norma 21500, refere que a gestão de projetos consiste na aplicação de métodos, ferramentas, técnicas e competências a um determinado projeto (ISO, 2012). Mais recentemente, a ISO, através da norma 21502, expõe o conceito como sendo um agrupamento de atividades coordenadas que visam dirigir e controlar a realização dos objetivos acordados para o projeto (ISO, 2020).

A gestão de projetos apresenta algumas diferenças em relação à gestão geral, em diversos aspetos. Essas diferenças podem ser observadas em dimensões como o tipo de atividades realizadas, a abordagem de gestão utilizada, a importância atribuída ao planeamento, o orçamento, a sequência de atividades e a localização geográfica do trabalho (Meredith & Shafer, 2020). A Tabela 2.3 compara a gestão de projetos com a gestão geral, realçando algumas das suas diferenças nas dimensões anteriormente referidas.

Tabela 2.3 - Principais diferenças entre Gestão de Projetos e Gestão Geral.

Dimensão	Gestão de Projetos	Gestão Geral
Tipo de atividade de trabalho	Única	Rotineira
Abordagem de gestão	Capacidade de adaptação à mudança	Gerir por exceção
Planeamento	Crítico	Importante
Orçamento	Começar do zero, múltiplos períodos orçamentais	Modificar o orçamento do período orçamental anterior
Sequência de atividades	Deve ser determinada	Muitas vezes predeterminada
Localização do trabalho	Cruza unidades organizacionais	Dentro de uma unidade organizacional
Relações de reporte	Informal	Bem definida

Fonte: Adaptado de Meredith e Shafer (2020)

2.1.5.1 Grupos de Processos

O PMBOK Guide, com especial ênfase até à sexta edição, de 2017, e a norma ISO 21500 consideram cinco grupos de processos de gestão de projeto. Um grupo de processos é uma conjugação lógica de vários processos da gestão de projetos, que

visam atingir os objetivos concretos do projeto. Os cinco grupos de processos são (ISO, 2012; PMI, 2017):

- **Grupo de processos de iniciação:** São processos realizados com o objetivo de definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto já existente, através da obtenção da autorização para iniciar o projeto ou a fase.
- **Grupo de processos planeamento:** Processos realizados com a finalidade de definir o âmbito do projeto, aprimorar os objetivos e estabelecer uma linha de ação com vista a alcançar os resultados pretendidos pelo projeto.
- **Grupo de processos execução:** Processos realizados de forma a executar o trabalho estipulado no plano de gestão do projeto, satisfazendo os requisitos do projeto.
- **Grupo de processos de monitorização e controlo:** Processos que visam monitorizar, rever e acompanhar o progresso e desempenho do projeto, identificar áreas onde são necessárias alterações ao plano do projeto e iniciar as devidas modificações.
- **Grupo de processos de encerramento:** Processos realizados para concluir formalmente o projeto, uma fase deste ou o contrato.

O PMBOK Guide clarifica que os grupos de processos não correspondem às fases do projeto, tal como as que compõem o ciclo de vida do projeto, pois, caso seja necessário, os grupos de processos podem ser repetidos ao longo das várias fases do projeto. A interligação entre os grupos de processos é evidente, visto que o *output* de um processo é o *input* de outro (Miguel, 2024; PMI, 2017). A Figura 2.5 ilustra, de forma esquemática, várias interações entre os cinco grupos de processos da gestão de projetos.

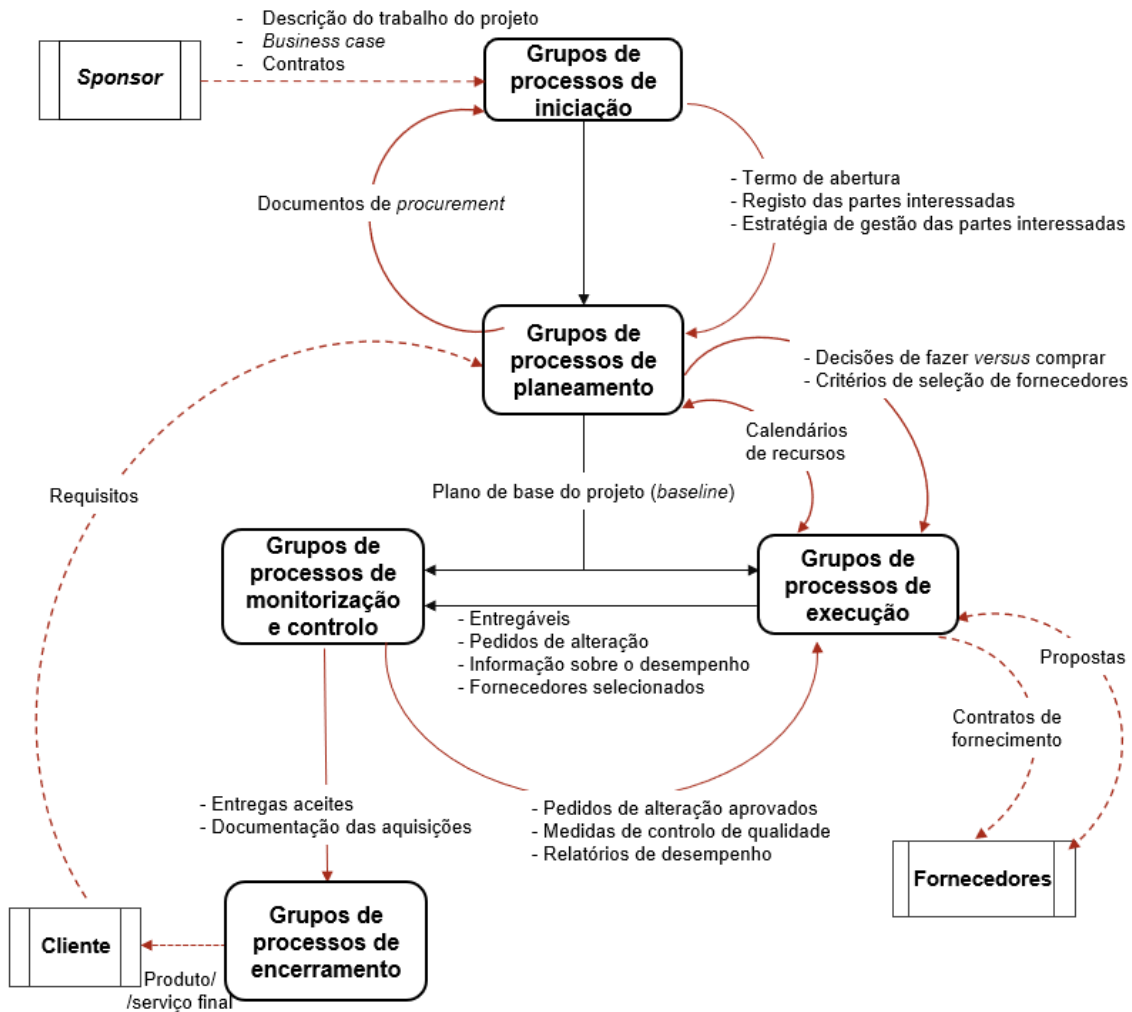


Figura 2.5 - Interações entre os grupos de processos da gestão de projetos.

Fonte: Adaptado de Miguel (2024)

2.1.5.2 Áreas de Conhecimento

Dentro dos cinco grupos de processos anteriormente referidos, são identificadas dez áreas de conhecimento (terminologia PMBOK Guide) ou grupos temáticos (terminologia ISO 21500). Estes grupos temáticos refletem domínios específicos dentro da gestão de projetos e são fundamentais na organização e estruturação do conhecimento necessário para a gestão eficaz do projeto.

Os grupos temáticos/áreas de conhecimento identificados são (ISO, 2012; PMI, 2017):

- **Gestão da Integração:** Refere-se aos processos e atividades orientados para a identificação, definição, combinação, unificação e coordenação dos vários processos da gestão de projetos dentro dos grupos de processos.

- **Gestão dos Stakeholders:** Compreende os processos referentes à identificação dos *stakeholders*, à análise das suas expectativas e da sua influência no projeto, bem como ao desenvolvimento de estratégias apropriadas para assegurar o seu envolvimento eficaz ao longo do projeto. Um *stakeholder* pode ser qualquer pessoa, grupo ou entidade que sofra influência das ações de uma organização ou que tenha capacidade de influenciar as suas decisões e resultados. São exemplos de *stakeholders* externos ao projeto os fornecedores, os clientes e as agências reguladoras. Internamente, destacam-se a equipa de projeto e o gestor do projeto, que é um *stakeholder* de elevada importância, visto ser a pessoa alocada pela organização para liderar a equipa responsável por alcançar os objetivos do projeto.
- **Gestão do Âmbito/Scope:** Refere-se aos processos necessários para garantir que o projeto abrange exclusivamente o trabalho indispensável à sua conclusão bem-sucedida.
- **Gestão dos Recursos:** Compreende processos de identificar, adquirir e gerir os recursos necessários para a conclusão do projeto.
- **Gestão do Tempo:** Refere-se aos processos necessários para gerir a conclusão atempada do projeto.
- **Gestão de Custos:** Consiste nos processos de planeamento, estimativa, orçamentação, financiamento, assim como na gestão e controlo de despesas, de forma a assegurar que o projeto seja executado dentro do orçamento.
- **Gestão do Risco:** Inclui os processos de planeamento da gestão de riscos: identificação, análise qualitativa e quantitativa, planeamento de respostas, implementação de respostas e monitorização contínua. Este domínio pretende minimizar as ameaças e maximizar as oportunidades ao longo do projeto.
- **Gestão da Qualidade:** Inclui os processos para incorporar a política de qualidade da organização no planeamento, gestão e controlo dos requisitos de qualidade do projeto e do produto, com o objetivo de satisfazer as expectativas das partes interessadas.
- **Gestão de Aquisições/Procurement:** Inclui os processos necessários para comprar ou adquirir serviços, produtos, ou resultados necessários ao projeto.
- **Gestão da Comunicação:** Refere-se aos processos que asseguram o planeamento, recolha, criação, distribuição, armazenamento, recuperação, gestão e disseminação de informações relevantes ao projeto, de forma adequada e atempada.

No Anexo 1, é possível observar com maior detalhe os quarenta e nove processos definidos pelo PMBOK Guide, resultantes do mapeamento entre os cinco grupos de processos e as dez áreas de conhecimento.

Dentro das dez áreas de conhecimento, aquela que é foco da presente dissertação é a Gestão do Risco, sendo dedicado o subcapítulo 2.2 para abordar o tema de forma mais efetiva.

2.1.6 O Sucesso e as Restrições do Projeto

O sucesso de um projeto é um conceito de elevada relevância, não só a nível empresarial, mas também a nível académico. Todavia, não existe um consenso generalizado sobre o que é o sucesso do projeto (Lamprou & Vagiona, 2018).

Para analisar o sucesso de um projeto, devem ser levados em conta dois componentes fundamentais: os fatores de sucesso e os critérios de sucesso do projeto (Lamprou & Vagiona, 2018; Turner, 2009).

2.1.6.1 Fatores de Sucesso

Para que o sucesso do projeto seja alcançado, devem ser tidos em conta uma série de fatores de sucesso. Estes são as variáveis independentes que influenciam a performance dos critérios de sucesso do projeto, isto é, a probabilidade de o projeto ser bem-sucedido. (Turner, 2009; Lamprou & Vagiona, 2018).

Freder *et al.* (2018) refere que o conceito de “fatores de sucesso” foi apresentado inicialmente em 1961 por D. Ronald Daniel, da McKinsey & Company, e foi posteriormente aprimorado para “fatores críticos de sucesso”, em 1981, por John Rockart. Posteriormente, na literatura, o termo foi adotado e vários autores publicaram listas de fatores críticos de sucesso dos projetos. A Tabela 2.4 apresenta alguns fatores de sucesso de projetos.

Tabela 2.4 - Fatores Críticos de Sucesso.

Fator de Sucesso	Categoria
Comprometimento da equipa de projeto	Fatores relacionado com os recursos humanos
Definição de um sistema de recompensas	
Capacidade de comunicação	Fatores referentes às relações entre <i>stakeholders</i>
Influência dos <i>stakeholders</i>	
Planeamento do projeto	Fatores relacionados com a gestão do projeto
Definição do âmbito	
Determinação dos fatores críticos de sucesso	
Cumprimento dos prazos	
Estabelecimento de objetivos	
Determinação de ações preventivas	
Cumprimento do orçamento	
Cumprimento do âmbito	
Indicação de alterações no prazo e orçamento	
Reuniões de conclusão de projeto	
Documentação do projeto	
Registo de lições aprendidas	
Reuniões de acompanhamento do projeto	
Definição de restrições	Fatores relacionados com aspetos técnicos
Determinação de pontos de controlo	

Fonte: adaptado de Pereira et al. (2022)

Lamprou e Vagiona (2018) realçam que a definição da missão do projeto, dos seus objetivos e metas é um fator determinante, apresentando-se como pré-requisito para que este possa ter sucesso. Para além disso, realça que o apoio e o comprometimento dos gestores de topo num projeto são também preponderantes.

2.1.6.2 Critérios de Sucesso

O sucesso do projeto pode ser avaliado através de critérios de sucesso, que são variáveis dependentes pelas quais é possível fazer um julgamento relativamente ao êxito do projeto (Lamprou & Vagiona, 2018; Pereira et al., 2022; Turner, 2009).

Historicamente, o sucesso do projeto foi definido com base em apenas três critérios (também denominados por três restrições): o projeto é executado dentro do prazo, do orçamento e conforme as especificações. Contudo, o autor refere que, a partir da década de 1980, passou-se a considerar a satisfação do cliente como fator-chave para avaliar o sucesso do projeto. Isto é, apesar de cumprir os prazos, o orçamento e as

especificações do projeto, este pode não ser considerado bem-sucedido caso não satisfaça o que é pretendido pelo cliente (Frame, 2003).

Frefer *et al.* (2018), refere algumas fontes identificadas na literatura que apresentam diferentes de critérios sucesso para diferentes projetos (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Critérios de Sucesso.

Critério de Sucesso	Fonte
Custo, Tempo, Desempenho, Satisfação, Utilização, Eficácia.	Pinto e Slevin (1988)
Desempenho técnico, Eficiência na execução do projeto, Implicações de gestão e organizacionais, Crescimento pessoal, Término do projeto, Inovação técnica, Capacidade de fabrico e <i>performance</i> empresarial.	Freeman e Beale (1992)
Custo, Tempo, Cumprimento das especificações técnicas, Satisfação dos clientes, Satisfação das partes interessadas.	Bryde e Robinson (2005)
Custo, Tempo, Qualidade, Âmbito, Satisfação do cliente, Segurança, Satisfação da equipa, Satisfação dos acionistas.	Bahia e Filho (2010)
Custo, Qualidade, Tempo, Satisfação do cliente, Especificações técnicas e Requisitos funcionais, Receita e Lucros, Vantagem competitiva, Participação no mercado, Reputação.	Al-Tmeemy <i>et al.</i> (2010)
Tempo; Custo; Qualidade; Saúde; Segurança e Ambiente; Satisfação do cliente	Khosravi e Afshari (2011)
Custo; Tempo; Requisitos técnicos; Satisfação do cliente; Alcance dos objetivos.	Gomes e Romão (2016)

Fonte: Adaptado de Frefer *et al.* (2018)

Lamprou e Vagona (2018), refere que na literatura os três critérios que mais referidos são o tempo, o custo e a qualidade, aparecendo posteriormente a satisfação do cliente que considera um critério mais contemporâneo.

2.1.6.3 Restrições do Projeto

Miguel (2024) refere que, tradicionalmente, são identificadas três restrições fundamentais num projeto: o tempo, o custo e o âmbito.

O **tempo** corresponde ao intervalo dentro do qual deve ser concluído o trabalho do projeto. A gestão do tempo está particularmente interligada com a gestão das várias atividades definidas do projeto, visto que o cronograma total integra o tempo definido para cada uma das atividades (Jain, 2021). O cronograma é fundamental para garantir que as atividades são concluídas na ordem correta e dentro das datas exigidas (Kerzner, 2018).

O **custo** corresponde ao orçamento (ou *budget*) disponível, para a realização de um projeto. O custo orçamentado corresponde ao limite financeiro estabelecido que não deve ser excedido (Barrett, 2024; Jain, 2021). A limitação de orçamento pode afetar, de forma substancial, a realização dos projetos. Os projetos não se fazem a qualquer custo, mesmo aqueles fundamentalmente alinhados com a estratégia de negócio. A limitação de orçamento pode, no extremo, levar à desistência do projeto, mesmo que este já se encontre em execução ou, ainda na fase de avaliação de investimento, levar à decisão de não avançar com o projeto (Carvalho & Bernardo, 2023).

O **âmbito** define o trabalho a realizar para alcançar o resultado, seja produto ou serviço, assim como as características e funcionalidades que devem estar presentes no mesmo. (Barrett, 2024; Kerzner, 2018).

Um projeto é um sistema dinâmico que deve ser mantido em equilíbrio, sendo a sua eficiência geral determinada pelo equilíbrio das três restrições referidas. No início do projeto, o sistema está inicialmente em equilíbrio; contudo, é natural que, após o seu início, existam alterações ao estado inicial. A título de exemplo, caso seja necessário antecipar a data de fim do projeto, isto é, reduzir o prazo, os custos poderão aumentar, pois terá de se laborar em horas extras. Por outro lado, se o orçamento for excedido, interessará ao gestor estender o prazo para recorrer o menos possível a horas extras. Existem várias alterações que podem causar desequilíbrio e que devem ser acompanhadas com atenção pelo gestor de projeto (Jain, 2021; Miguel, 2024).

As três restrições fundamentais podem ser esquematicamente representadas recorrendo ao triângulo das restrições, também denominado triângulo de ferro da gestão de projetos. A Figura 2.6 ilustra o triângulo de ferro da gestão de projetos numa fase inicial, em cinza-claro, e num momento no decorrer do projeto, em cinza-escuro, onde se vê alterado e condicionado.

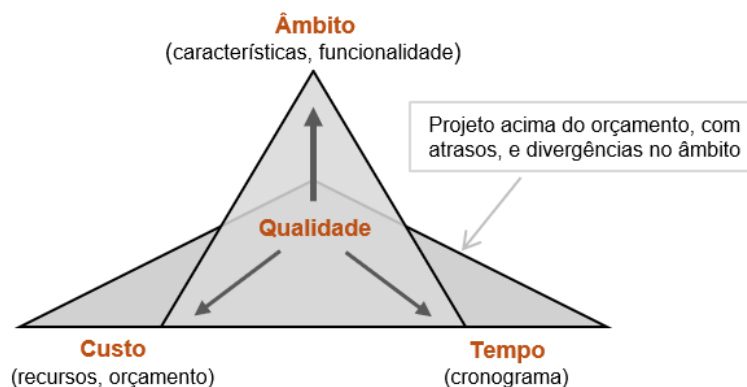


Figura 2.6 - Triângulo de ferro da gestão de projetos.

Fonte: Adaptado de Jain (2021)

O triângulo permite ainda ilustrar uma quarta restrição: a qualidade. A qualidade do projeto abrange atividades de garantia da qualidade que devem ser definidas no âmbito do projeto. A estas atividades devem ser alocados recursos, que se repercutem no orçamento e devem estar inseridos no cronograma. A qualidade global do projeto ocorre quando o cliente recebe o produto ou serviço solicitado, na data requerida e pelo preço estabelecido. A qualidade e o sucesso do projeto são fruto do equilíbrio eficaz das restrições (Kerzner, 2018).

Apesar de o triângulo de ferro descrever as restrições fundamentais de um projeto, não refere todas as que existem no mesmo. Com a evolução da gestão de projetos, outras restrições têm vindo a ganhar especial relevância, podendo então falar-se de seis restrições do projeto, nomeadamente: **tempo, custo, âmbito, qualidade, recursos e risco** (Barrett, 2024; Kerzner, 2018).

Os **recursos** incluem pessoas para executar o trabalho do projeto, materiais, equipamentos, ferramentas, instalações, entre outros possíveis. A sua disponibilidade pode variar consoante o momento, afetando o cronograma inicial do projeto (Kerzner, 2018).

O **risco** presente no projeto é uma restrição que pode afetar significativamente o sucesso do mesmo. Nesse sentido, os riscos devem ser identificados e deve existir um plano de mitigação para que, caso ocorram, possam ser tratados de forma eficaz, sem causar efeitos nefastos para o projeto. O processo de planeamento da mitigação do risco deve conter etapas como: definir claramente o risco; determinar a probabilidade do risco ocorrer; determinar o custo adicional para mitigar o risco; e definir o impacto potencial no cronograma do projeto. O plano de mitigação deve ser tido em conta no orçamento, e as atividades de mitigação incluídas no cronograma (Kerzner, 2018).

2.2 Gestão do Risco

2.2.1 Enquadramento Histórico

Os primeiros estudos sobre o risco remontam ao Renascimento, período em que se iniciou a investigação no âmbito da teoria da probabilidade, sendo reconhecidos como pioneiros neste domínio os cientistas Blaise Pascal e Pierre de Fermat. Inicialmente desenvolvidas com propósitos ligados aos jogos de azar, as suas descobertas, datadas de 1654, transformaram a perceção da incerteza, do risco e da tomada de decisão, servindo de alicerce ao subsequente desenvolvimento da ciência do risco (Przetacznik,

2022). No seguimento dos estudos iniciais, outros cientistas contribuíram para o desenvolvimento da ciência do risco, entre os quais (Przetacznik, 2022):

- Jacob Bernoulli — criador da “lei dos grandes números” e estabeleceu as bases da teoria da probabilidade;
- Abraham de Moivre — estudou o cálculo de probabilidades e apresentou o conceito de distribuição normal e do desvio padrão;
- Daniel Bernoulli — autor da teoria da utilidade esperada;
- Thomas Bayes — autor do teorema de Bayes;
- Friedrich Leitner — Em 1915 publicou a obra *Die Unternehmensrisiken*, no âmbito dos riscos e as suas respostas;
- Frank Knight — definiu a diferença entre incerteza e risco, sendo autor do livro *Risk, Uncertainty and Profit*, publicado em 1921. Analisou o impacto do risco na economia clássica e introduziu as primeiras definições universalmente reconhecidas de risco e incerteza, estudando o impacto desses fenómenos nas decisões económicas.

Em 1952, Harry Markowitz deu um contributo importante para a gestão do risco, com foco nas carteiras de investimento. Segundo a teoria de Markowitz, deve existir uma diversificação dos ativos, de forma a minimizar o risco do investimento e aumentar o seu retorno. Esta teoria impactou a forma como os investidores encaravam a incerteza e influenciou fortemente decisões de negócios e financeiras, incluindo na Bolsa de Valores de Wall Street (Luckmann, 2015). No seguimento da teoria de Markowitz, já na década de 60, Treynor, Sharpe, Lintner e Mossin desenvolvem o modelo de precificação de ativos financeiros, ou apenas CAPM (Capital Asset Pricing Model) aumentado assim a contributo da avaliação do risco na área das finanças (Dionne, 2013).

Na década de 1980, a gestão do risco potencia-se, ganhando elevada relevância no setor financeiro, e a normalização da gestão do risco torna-se uma realidade, com a criação do Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). O COSO surge com o objetivo de abordar questões financeiras e melhorar a governação empresarial e o controlo interno, em resposta aos escândalos de fraude ocorridos nos anos anteriores. (Molamohamadi *et al.*, 2024).

Já no século XXI, foi publicada a primeira edição da norma ISO 31000, em 2009, com o objetivo de fornecer diretrizes e princípios sobre a gestão do risco.

Mais recentemente, a pandemia de COVID-19, que afetou vários negócios e organizações a nível mundial, pode ser encarada como um marco temporal importante,

visto que alterou significativamente a forma como grande parte das empresas encaram e gerem os riscos (Molamohamadi *et al.*, 2024).

2.2.2 Conceito de Risco

Ao longo dos anos, o significado da palavra “risco” tem vindo a ganhar novas dimensões, alterando a sua interpretação em diferentes contextos. A Tabela 2.6 apresenta uma retrospectiva de algumas das principais interpretações e definições do conceito de risco ao longo dos anos, segundo diferentes autores.

Tabela 2.6 - Definições e interpretações de “risco” ao longo dos anos.

Descrições e definições de Risco	Autor (ano)
O risco é incerteza objetiva	Knight (1921)
O risco é a perda esperada	Domar (1944)
O risco é a variância da distribuição de probabilidade sobre as utilidades de todas as possíveis consequências.	Allais (1953)
O risco é a variância ou dispersão dos resultados.	Libby (1977)
O risco é uma função da probabilidade de perda e da distribuição das perdas.	Fishburn (1981)
O risco tem dois componentes: a extensão do dano e a probabilidade ou a chance de que tal dano ocorra	Ale (2002)

Fonte: Adaptado de Xu *et al.* (2024)

Durante várias décadas, contribuíram de forma significativa para a evolução do conceito de “risco” disciplinas como: matemática; filosofia; economia; antropologia; psicologia; sociologia, direito; engenharia; medicina (Xu *et al.*, 2024).

Atualmente, a norma ISO 31073, que incide no vocabulário utilizado na gestão do risco, define **risco** como: “*effect of uncertainty on objectives*” (ISO, 2022, p. 1), o que, em português, se entende pelo efeito da incerteza nos objetivos. O efeito corresponde a um desvio — positivo, negativo ou ambos — em relação ao que é esperado, podendo resultar em ameaças ou oportunidades. Por sua vez, a incerteza caracteriza-se por um estado em que existe deficiência de informação relativamente ao entendimento ou conhecimento de algo (ISO, 2022).

Observa-se que o conceito de risco tem evoluído ao longo do tempo. No entanto, a maioria das abordagens concorda que o risco está intimamente ligado à incerteza, seja em termos de perdas, variabilidade de resultados ou impactos nos objetivos, tornando essas definições, de certa forma, complementares.

David Hillson refere que todos os riscos são incertos, contudo, nem todas as incertezas são riscos. O autor realça que existe, no mundo, um enorme conjunto de incertezas e que é importante compreender quais são realmente relevantes, apresentando o “risco” como a “incerteza que interessa” (Hillson, 2023).

Na definição de risco apresentada pela ISO 31073, o risco deve ser entendido como um conceito com duas perspectivas distintas, tal como também ressalva Hillson (2023) referindo que a incerteza (risco) que ocorre com um efeito negativo sobre os objetivos é denominada ameaça, enquanto que, se o efeito for positivo, denomina-se oportunidade, sendo que ambas são incertezas que interessam e, portanto, riscos.

O risco é normalmente expresso pelas fontes de risco, eventos potenciais, as suas consequências e a probabilidade de ocorrência (ISO, 2018). Castelblanco *et al.* (2023) refere que, atualmente, a Teoria da Utilidade Esperada é o modelo mais amplamente utilizado para quantificar riscos. De acordo com essa teoria, o modelo PI calcula a estimativa de um evento de risco através da multiplicação da probabilidade de ocorrência (P) pelo seu impacto (I), como demonstra a Equação 2.1. A probabilidade pode variar entre 0 e 100%.

$$\text{Risco (R)} = f(\text{Probabilidade (P)}, \text{Impacto (I)}) \quad (2.1)$$

Todavia, apesar das várias definições sugeridas ao longo dos anos, ainda não existe uma definição consensual, aceite e unificada de risco, adotada por todos os organismos e reconhecida pela comunidade científica (Taherdoost, 2021).

2.2.3 Gestão do Risco e a sua Importância nas Organizações

Sendo o risco uma inevitabilidade, a sua gestão torna-se também, de alguma forma, uma necessidade implícita para as organizações. Essa gestão pode ser entendida como um conjunto de atividades desenvolvidas de forma coordenada, com o objetivo de direcionar e controlar uma organização no âmbito do risco. (ISO, 2018). Desta forma, as organizações não só minimizam ou eliminam os riscos negativos, como também potenciam aqueles que lhes trarão mais-valias.

A gestão eficaz do risco, abordada de forma coordenada e metodológica, permite às organizações adotar um comportamento proativo face aos desafios que enfrentam (Kerzner, 2018). As organizações dinâmicas e visionárias aproveitam os benefícios da gestão do risco para tomar melhores decisões e alcançar resultados cada vez melhores (Sadgrove, 2016). Nesse sentido, a gestão do risco deve ser encarada como um

processo importante que serve de alicerce às organizações, disponibilizando aos decisores a melhor informação sobre as situações de potencial risco.

Frame (2003) refere seis tipos diferentes de risco que afetam o negócio nas organizações, não sendo estes exclusivos — isto é, um mesmo risco pode enquadrar-se em diferentes tipologias, existindo ligações e relações de influência entre os vários tipos. A Tabela 2.7 apresenta as seis tipologias mencionadas pelo autor.

Tabela 2.7 - Alguns tipos de risco que influenciam uma organização.

Tipo de Risco	Descrição
Risco puro ou incerteza	Refere-se à possibilidade de se sofrer uma perda ou um dano, focando-se exclusivamente em eventos negativos
Risco de negócio	Existe a possibilidade tanto de ganho como de perda. Por norma os empreendedores assumem alguns riscos, contudo devem ter presente que quanto mais elevado este é, mais probabilidade há de ganho, mas também de perda
Risco de Projeto	É tipo de risco associado à às incertezas que envolvem um projeto. Está em grande parte ligado, ao facto de o projeto trabalhar baseado em estimativas, que só por si constituem o risco.
Risco Técnico	Está sobretudo ligado ao risco associado à realização de uma tarefa. O facto de ser executada pela primeira vez (existindo inexperiência e desconhecimento), aumenta consideravelmente o risco de não cumprir o prazo, especificações e o orçamento proposto para a mesma.
Risco Operacional	Tipo de risco associado à execução das operações, surgindo quando um determinado evento perturba o normal funcionamento das mesmas. Tem influência na sequência das operações e conseqüentemente no seu objetivo/resultado (produto final).
Risco Político	Está ligado ao facto dos fatores e contextos políticos que têm influência na organização, sobretudo nos momentos de tomada de decisão. A nível interno este tipo de risco é desencadeado por fatores da política interna da organização.

Fonte: Adaptado de Frame (2003)

A crescente adoção de boas práticas de gestão do risco e de normas internacionais tem um impacto muito positivo na estratégia corporativa. São exemplo disso a família de normas ISO 31000 e as estruturas COSO Enterprise Risk Management (ERM), que fornecem diretrizes fundamentais para a aplicação da gestão do risco nas organizações (Sunaryo *et al.*, 2025).

A família de normas ISO 31000, lançada em 2009 pela ISO, estabelece linhas de orientação gerais e princípios sobre a gestão do risco, permitindo relacionar três componentes integrantes e essenciais: os princípios, a estrutura e o processo de gestão do risco (ISO, 2018).

Os princípios fornecem uma base e orientação sobre as características da gestão do risco que, se forem tidas em conta, permitem gerir riscos de forma eficaz e eficiente, devendo ser considerados aquando da definição da estrutura e do processo de gestão do risco (ISO, 2018).

A estrutura destina-se, fundamentalmente, a fornecer uma base de apoio que auxilie a organização a incorporar a gestão do risco nas diversas atividades ou funções significativas. A eficácia da gestão do risco dependerá da sua integração na governação da organização, incluindo o processo de tomada de decisão (ISO, 2018).

Os princípios a adotar assim com os componentes da estrutura podem ser consultados no Anexo 2. Já o processo de gestão do risco merecerá especial atenção no subcapítulo 2.3.

2.2.4 Gestão do Risco em Projetos

A própria definição de projeto tem intrinsecamente associado a si o risco. Quando um projeto é definido como único, significa que nunca foi anteriormente executado, sendo, por isso, o conhecimento sobre o mesmo limitado. As lições retiradas de projetos passados, embora úteis, não são suficientes para prever o que acontecerá no projeto atual (Frame, 2003). Para além disso, o facto de um projeto ter o seu início e fim bem definidos, e de passar por um conjunto de fases consistentes, cria uma limitação temporal que faz com que a gestão dos riscos assuma um papel de relevo na gestão do projeto (Moeller, 2007). Assim, compreende-se que o risco é uma inevitabilidade associada às várias atividades que compõem o projeto, bem como aos objetivos que este pretende alcançar, sendo, por isso, fundamental proceder à sua gestão (Kendrick, 2024).

A gestão do risco no projeto passa por um processo formal e sistemático, integrado em todo o ciclo de vida do projeto, pressupondo a definição de objetivos, a identificação das fontes de incerteza, a análise dessas incertezas (riscos) e o delineamento de estratégias de resposta (Verbano & Venturini, 2011).

Trata-se, portanto, segundo a *Association for Project Management*, de um processo estruturado que permite compreender e gerir tanto os eventos de risco individuais como o risco global do projeto, de forma a otimizar o sucesso do mesmo (APM, 2019). Esta otimização é feita através da maximização da probabilidade e/ou do impacto dos riscos positivos e da minimização da probabilidade e/ou do impacto dos riscos negativos (PMI, 2017; APM, 2019).

Entre os grandes benefícios de se gerir ativamente os riscos em projetos está o facto de permitir fazer face ao denominado ambiente VUCA (*Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity*). Este acrónimo surgiu nos Estados Unidos após os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001 e é atualmente utilizado para descrever o contexto dos negócios e, em especial, o dos projetos (Kendrick, 2024).

Como foi referido anteriormente, é importante gerir os riscos ao longo de todo o CVP. Essa importância faz-se notar logo desde as fases iniciais. É precisamente no início do projeto que a incerteza (risco) é maior (bastante acentuada nas primeiras fases do CVP) diminuindo progressivamente à medida que vão sendo executadas as atividades do projeto (Moeller, 2007; Chiochio *et al.*, 2015; Hopkin, 2017). Pelo contrário, o impacto que uma alteração tem no projeto aumenta à medida que este se desenvolve. A Figura 2.7, ilustra o comportamento da incerteza e risco ao longo do projeto.

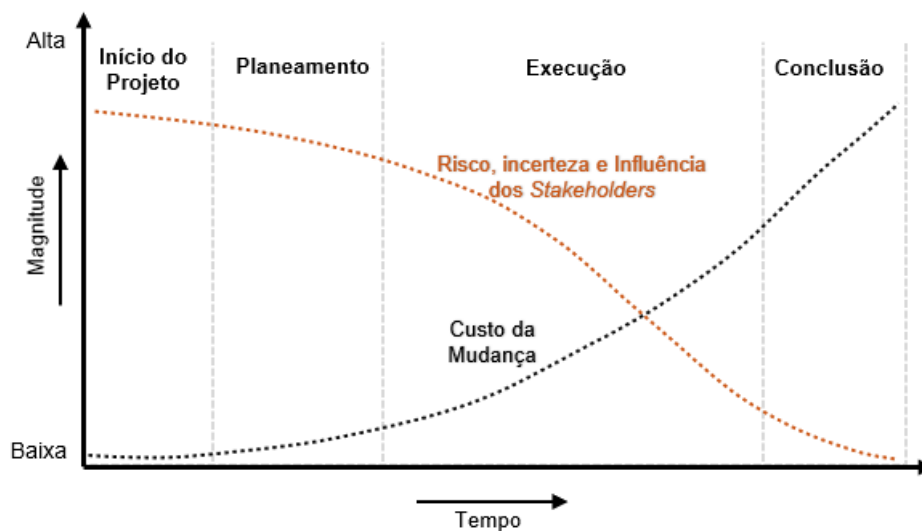


Figura 2.7 - Risco e Custo da Mudança ao longo do CVP.

Fonte: Adaptado de Hopkin (2017)

2.3 Processo de Gestão do Risco

A abordagem processual seguida por diferentes fontes quanto à gestão do risco no projeto difere ligeiramente na denominação ou no número das fases do processo. Importa, assim, analisar algumas das principais referências na gestão do risco em projetos: a ISO 31000 e o *PMBOK Guide*.

O processo de gestão do risco, segundo a ISO 31000, resulta da aplicação de políticas, procedimentos e práticas de gestão às seguintes atividades (ISO, 2018):

- Comunicação e consulta;
- Âmbito, contexto e critério;
- Avaliação do risco, que incorpora:
 - Identificação do risco;
 - Análise do risco;
 - Avaliação do risco;
- Tratamento do risco;
- Monitorização e Revisão;
- Registo e Relato.

A Figura 2.8 ilustra o processo de Gestão do Risco apresentado pela ISO 31000.

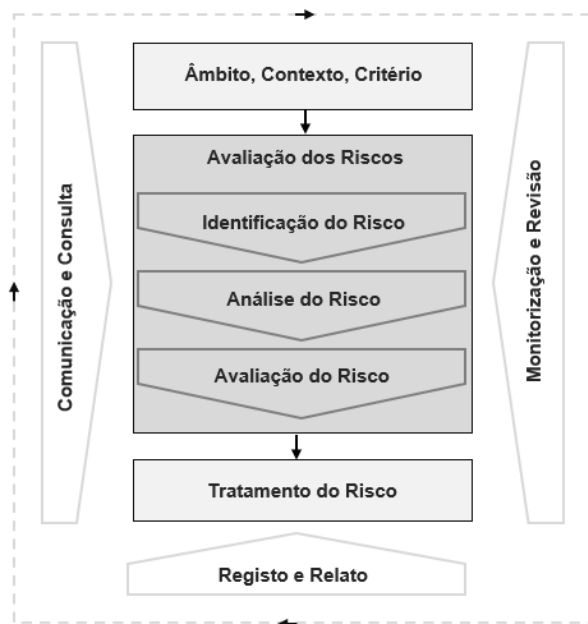


Figura 2.8 - Processo de Gestão do Risco da ISO 31000.

Fonte: Adaptado de (ISO, 2018)

Já o PMBOK *Guide* refere que o processo de gestão do risco integra um conjunto de sete etapas (PMI, 2017):

- Planear a gestão do risco;
- Identificar os riscos;
- Análise qualitativa dos riscos;
- Análise quantitativa dos riscos;
- Planear a resposta aos riscos;
- Implementar a resposta aos riscos;
- Monitorizar os riscos.

A cada uma das fases, o PMBOK *Guide* associa um conjunto de *inputs*, ferramentas e técnicas, bem como os *outputs* que considera importantes para que todo o processo de gestão do risco apresente o melhor desempenho. Estes podem ser consultados no Anexo 3.

Verifica-se que, entre a ISO 31000 e o PMBOK *Guide*, existem diferenças no processo de gestão do risco, seja pela denominação, seja pelo número de fases utilizadas. Enquanto a ISO estabelece um processo de gestão do risco genérico, aplicável a qualquer organização, o PMBOK *Guide* propõe um processo especificamente direcionado para projetos. Todavia, apesar das suas diferenças, é possível mapear as principais fases e criar uma estrutura genérica que integre os melhores contributos de ambos, como se propõe na Figura 2.9.

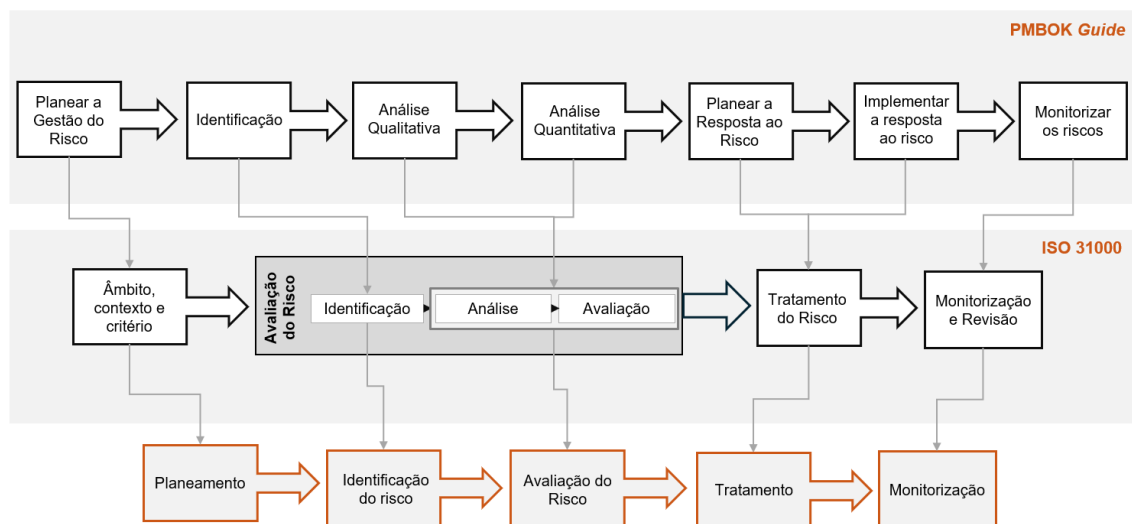


Figura 2.9 - Integração e simplificação dos processos PMBOK e ISO 31000.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em PMI (2017) e ISO (2018).

Este mapeamento revela-se útil por simplificar e integrar as melhores práticas das duas abordagens, servindo como referência para o desenvolvimento do modelo de gestão do risco proposto nesta dissertação, com especial ênfase nas fases de identificação, avaliação e tratamento do risco.

De seguida, procede-se à análise das cinco fases resultantes do mapeamento efetuado.

2.3.1 Planeamento

De acordo com o *PMBOK Guide*, o planeamento rigoroso e explícito constitui uma etapa fundamental do processo de gestão do risco, uma vez que aumenta o sucesso das fases subsequentes. O principal benefício consiste em assegurar que o nível, o tipo e a visibilidade da gestão dos riscos estão alinhados com a magnitude dos riscos identificados e com a relevância que o projeto assume, tanto para a organização como para os seus *stakeholders* (PMI, 2017).

Planear corresponde à definição da forma como serão conduzidas as atividades de gestão do risco ao longo do projeto. Para a sua execução, recorre-se à informação e ao conhecimento presentes no termo de abertura do projeto, no plano de gestão do projeto, em diversa documentação, nos fatores ambientais da organização e nos ativos de processos organizacionais (PMI, 2017).

Planear compreende definir o âmbito, no qual se incluem os objetivos, os recursos necessários, as responsabilidades, as ferramentas e as técnicas apropriadas, entre outros. Inclui ainda a definição do contexto do projeto, tanto externo como interno. O contexto externo abrange fatores políticos, legais, jurídicos, tecnológicos, económicos, relações e compromissos contratuais, entre outros. Já o contexto interno engloba, entre outros aspetos, a compreensão da estratégia, dos objetivos, das políticas, da cultura organizacional, das relações entre as partes interessadas internas, bem como da capacidade em termos de recursos e conhecimento (como capital, pessoas, processos, entre outros) (ISO, 2018).

Nesta fase, é importante que a organização estabeleça critérios para avaliar a significância do risco, de forma a apoiar os processos de tomada de decisão (ISO, 2018).

Do planeamento resulta o plano de gestão do risco, o qual deve incluir alguns itens específicos, que resumem parte do que foi referido, nomeadamente (PMI, 2017):

- Estratégia;

- Metodologia;
- Papéis e responsabilidades;
- Orçamento;
- Cronograma;
- Categorias de riscos;
- Appetite ao risco;
- Definição dos níveis de probabilidade e impacto;
- Formato dos relatórios;
- Definição da matriz de Probabilidade e Impacto;
- Acompanhamento (registo de atividades e auditoria dos processos da GR).

2.3.2 Identificação de Riscos

A identificação de riscos é a etapa que visa encontrar, reconhecer, descrever e documentar os riscos, bem como as suas características (ISO, 2018). Trata-se de um processo iterativo, realizado ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, visto que, durante a sua execução, podem surgir novos riscos que coloquem em causa os objetivos estabelecidos (Miguel, 2024; PMI, 2017). Neste processo, devem ser considerados todos os riscos, incluindo aqueles cujas fontes não estão sob o controlo da organização (ISO, 2018).

Na identificação podem ser utilizadas técnicas como *brainstorming*, entrevistas, técnica *Delphi* e análise *SWOT*. Esta última é uma ferramenta de gestão estratégica que permite identificar riscos com base em quatro dimensões: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. As duas primeiras dimensões correspondem ao ambiente interno da organização, enquanto as duas últimas se referem ao ambiente externo (Carvalho & Bernardo, 2023; PMI, 2017).

2.3.3 Avaliação do Risco

Após a identificação dos riscos que podem afetar o projeto, deve proceder-se à compreensão e à estimativa individual de cada risco, de forma a decidir a abordagem de tratamento mais adequada. Este processo consiste na interpretação e estimativa do risco, através da análise da probabilidade de ocorrência e dos potenciais impactos de cada evento de risco. Desta forma, é possível classificar os riscos do projeto e atribuir-lhes diferentes níveis de prioridade, podendo ser adotada uma abordagem qualitativa, quantitativa ou uma combinação de ambas. Daí que esta fase surja, por vezes,

desagregada, como acontece no PMBOK *Guide*, que a designa por análise qualitativa e análise quantitativa (Carvalho & Bernardo, 2023).

2.3.3.1 Avaliação Qualitativa

A abordagem qualitativa envolve a priorização dos riscos, através da atribuição de uma classificação do risco potencial, consoante a sua importância no contexto do projeto (PMI, 2017).

A classificação atribuída pode diferir entre projetos; contudo, um exemplo típico de classificação do risco é o seguinte:

- **Baixo:** trata-se de um risco que não é prioritário, uma vez que os seus impactos no projeto são reduzidos. Apesar disso, não deve ser ignorado.
- **Médio/Moderado:** pode merecer uma atenção adicional, visto que o seu impacto é, de certa forma, considerável.
- **Alto:** trata-se de um risco que requer atenção prioritária, pois pode impactar severamente o projeto.

Uma das formas mais comuns de realizar este tipo de análise é através das matrizes de probabilidade e impacto (Kendrick, 2024; PMI, 2017). Estas podem representar oportunidades, ameaças ou ambos os tipos de risco, à semelhança da matriz ilustrada na Figura 2.10.

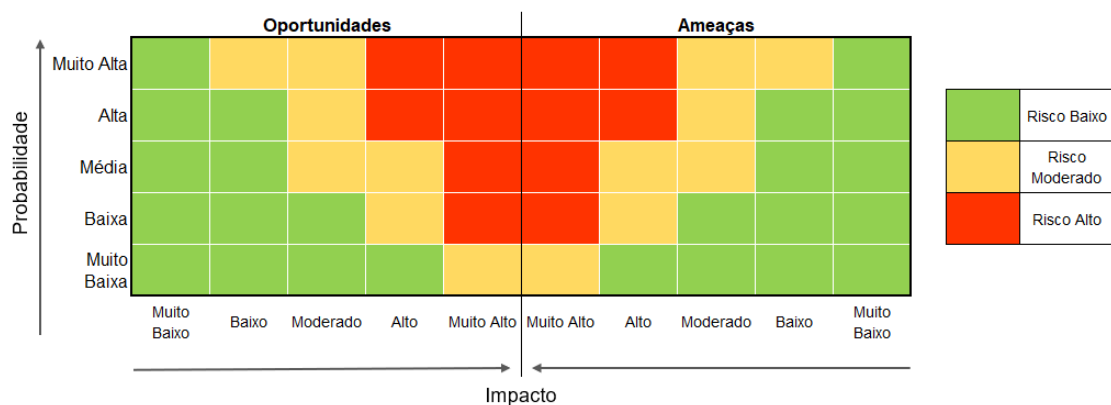


Figura 2.10 - Exemplo de uma matriz Probabilidade x Impacto.

Fonte: Adaptado de PMI (2017)

Trata-se, portanto, de uma abordagem rápida e económica, cuja eficácia depende tanto do tipo de projeto como da qualidade dos dados existentes e, muitas vezes, das escalas de impacto e probabilidade adotadas (Miguel, 2024).

2.3.3.2 Avaliação Quantitativa

Este tipo de abordagem permite avaliar os impactos dos riscos, atribuindo-lhes valores numéricos e quantificando a exposição do projeto ao risco (Miguel, 2024).

Trata-se de uma avaliação especialmente adequada a projetos de grande dimensão e complexidade, ou de natureza estratégica para as organizações, uma vez que constitui a forma mais robusta de avaliar o risco global do projeto, através da agregação dos riscos individuais e de outras fontes de incerteza (PMI, 2017).

Aplicar técnicas quantitativas para avaliar o risco pode implicar a obtenção de dados de elevada qualidade sobre os riscos individuais, bem como de informações sólidas sobre o âmbito, o cronograma e o custo do projeto. Pode ainda ser necessária a utilização de software específico e de conhecimentos sobre modelos de risco. Nesse sentido, a decisão de efetuar uma avaliação qualitativa ou quantitativa poderá depender de aspetos como as capacidades e os recursos do projeto, bem como da sua importância no contexto da organização (PMI, 2017).

Uma das possibilidades consiste em utilizar ambas as abordagens de forma complementar. Numa primeira fase, a avaliação qualitativa permite priorizar os riscos, destacando aqueles com maior probabilidade de afetar de forma substancial os objetivos do projeto. Numa segunda fase, a abordagem quantitativa possibilita quantificar, com maior precisão, o grau em que esses riscos poderão impactar o projeto (Miguel, 2024).

Ao realizar a avaliação quantitativa do risco no projeto, podem ser utilizadas, entre outras, técnicas e ferramentas como (PMI, 2017):

- **Análise de sensibilidade:** permite identificar quais os riscos do projeto têm maior potencial para afetar os resultados, através da correlação entre as variações nos resultados e as variações dos elementos do modelo de análise quantitativa, utilizando como representação comuns o diagrama de tornado.
- **Árvores de decisão:** utilizadas para apoiar a seleção da melhor alternativa entre um conjunto possível de opções. Em cada árvore, cada ramo representa diferentes decisões ou eventos incertos, sendo a avaliação das decisões efetuada através do cálculo do valor esperado de cada caminho e da subsequente escolha daquele que apresente o melhor resultado.
- **Simulação:** permite avaliar os efeitos combinados dos riscos individuais do projeto e de outras fontes de incerteza, determinando o seu impacto nos objetivos. A análise de Monte Carlo é uma das mais utilizadas.

No subcapítulo 2.4 serão analisadas com maior detalhe algumas técnicas e ferramentas de gestão do risco, nomeadamente as aplicadas à avaliação quantitativa do risco.

2.3.4 Tratamento do Risco

O propósito do tratamento do risco consiste em planear e implementar as estratégias mais adequadas para o abordar, com base nos resultados da avaliação realizada (ISO, 2018)

2.3.4.1 Planear a Resposta

A partir do processo de avaliação do risco obtém-se a informação necessária para a tomada de decisão sobre a resposta a aplicar. Trata-se de utilizar os *outputs* da avaliação realizada para definir a melhor estratégia face ao risco. Devem, assim, ser determinadas as ações e selecionadas as estratégias que melhor permitam reduzir as ameaças e potenciar as oportunidades identificadas e avaliadas (PMI, 2017).

No delineamento das estratégias e respostas, devem ser considerados alguns princípios, tais como (Miguel, 2024; PMI, 2017):

- Serem oportunas;
- Serem adequadas à importância do risco;
- Terem um rácio custo/benefício adequado;
- Serem acordadas por todos os envolvidos;
- Serem realistas, face ao contexto;
- Possuírem um responsável (dono do risco).

As respostas possíveis, face à natureza do risco, podem ser divididas em dois grupos: estratégias para as oportunidades (riscos positivos) e estratégias para as ameaças (riscos negativos) (PMI, 2017). A Tabela 2.8 refere ambas as estratégias.

Tabela 2.8 - Estratégias face ao risco e as suas dimensões comuns

Estratégia para Ameaças	Estratégia para Oportunidades	Dimensão comum
Prevenir	Explorar	Atuam sobre a causa
Mitigar	Aumentar	Atuam sobre a probabilidade e o impacto
Transferir	Partilhar	Incluem outras entidades (<i>outsourcing</i>)
Aceitar	Aceitar	Não existem ações perante o risco

Fonte: Adaptado de PMI (2017)

Dado que o âmbito da dissertação incide sobretudo na gestão de riscos negativos, importa focar as estratégias a adotar nesse sentido. Essas estratégias podem ser apresentadas da seguinte forma (PMI, 2017):

- **Prevenir** – A equipa de projeto atua de forma a eliminar o risco ou a proteger o projeto do seu impacto. Evitar a ameaça pode implicar alterações no plano de gestão do projeto ou reajustes nos objetivos em perigo, de modo a eliminar por completo a ameaça.
- **Mitigar** – A equipa de projeto atua no sentido de reduzir a probabilidade de ocorrência e/ou o impacto da ameaça, levando-os a níveis considerados aceitáveis.
- **Transferir** – Consiste na transferência, para terceiros, do impacto da ameaça e da responsabilidade pela resposta. Envolve, normalmente, o pagamento de um prémio à parte que assume a responsabilidade pelo risco, embora o risco não seja eliminado.
- **Aceitar** – A aceitação do risco implica reconhecer a sua existência, sem que esteja prevista qualquer ação proativa imediata. Pode assumir uma forma ativa, através da elaboração de um plano de contingência a implementar caso o evento se concretize, ou uma forma passiva, sem que seja feita qualquer ação. Ao seguir esta estratégia, a equipa de projeto opta por não alterar o plano de gestão do projeto para lidar com o risco

2.3.4.2 Implementar a Resposta

A implementação da resposta consiste no processo de materialização dos planos de resposta aos riscos previamente definidos (Schwalbe, 2019).

Os principais resultados desta etapa podem traduzir-se em pedidos de alteração à *baseline* de custos e ao cronograma, ou ainda a outros elementos do plano de gestão do projeto. Por norma, esta fase também conduz a atualizações em documentos do projeto, tais como o registo de riscos, o relatório de riscos, o registo das lições aprendidas, entre outros.

Um dos problemas recorrentes na gestão do risco em projetos é o facto de a equipa de projeto investir tempo na identificação, avaliação, desenvolvimento do plano de respostas e na elaboração do registo e do relatório de riscos, sem que sejam posteriormente executadas medidas efetivas para gerir o risco. Assim, é importante que

exista um esforço efetivo no sentido de implementar as respostas, proporcionando aos responsáveis o tempo e os incentivos necessários (Miguel, 2024; PMI, 2017).

2.3.5 Monitorização

A monitorização pretende, entre outros objetivos, avaliar a eficácia do processo de gestão do risco ao longo do projeto e garantir a qualidade tanto do processo como dos seus resultados (ISO, 2018; Schwalbe, 2019).

Contudo, na perspetiva da “*monitorização dos riscos*”, como é designada pelo PMBOK *Guide*, esta fase consiste em garantir que as respostas aos riscos são executadas, que existe acompanhamento dos riscos identificados e que novos riscos são identificados e analisados (Schwalbe, 2019).

Os novos riscos identificados devem ser submetidos ao mesmo processo aplicado aos riscos identificados durante a avaliação inicial (Schwalbe, 2019). Pode ser necessário um planeamento adicional para os novos riscos ou para os anteriormente identificados, caso o seu impacto seja superior ao esperado, o que poderá levar à repetição do processo de planeamento das respostas aos riscos (Miguel, 2024). Por vezes, face a alterações na exposição ao risco, pode ser necessário proceder a uma redistribuição dos recursos dedicados à gestão de riscos (Schwalbe, 2019).

O grande benefício deste processo reside no facto de permitir que as decisões sejam tomadas com base em dados atualizados, tanto sobre os riscos individuais do projeto como sobre a exposição global do projeto ao risco (PMI, 2017).

Após a análise das cinco fases, importa referir que a integração dos dois processos de gestão do risco (ISO 31000 e PMBOK *Guide*) constitui uma referência fundamental para o desenvolvimento do modelo proposto nesta dissertação, nomeadamente nas fases de identificação, avaliação e tratamento do risco. As práticas isoladas de cada uma destas abordagens, por si só, não maximizam o contributo efetivo que podem oferecer à gestão de projetos. Ao integrar ambas, garante-se a robustez conceptual da ISO 31000 e a aplicabilidade prática aos projetos, garantida pelo PMBOK *Guide*.

2.4 Técnicas e Ferramentas da Gestão do Risco

No âmbito da família de normas ISO 31000, a ISO/IEC 31010 apresenta um vasto leque de técnicas utilizadas na gestão do risco. Esta norma fornece orientações sobre a seleção dessas técnicas e a sua aplicação prática. A Tabela 2.9 apresenta as 41 técnicas referidas na norma.

Tabela 2.9 - Técnicas e Ferramentas da Gestão do Risco.

Técnicas e Ferramentas da Gestão do Risco			
1	ALARP, ALARA e SFAIRP	22	Hazard and operability studies (HAZOP)
2	Bayesian analysis	23	Hazard analysis and critical control points (HACCP)
3	Bayesian networks	24	Human reliability analysis
4	Bow tie analysis	25	Ishikawa (fishbone)
5	Brainstorming	26	Layer protection analysis (LOPA)
6	Business impact analysis	27	Markov analysis
7	Causal mapping	28	Monte Carlo simulation
8	Cause-consequence analysis	29	Multi-criteria analysis (MCA)
9	Checklists, classifications taxonomies	30	Nominal group technique
10	Cindynic approach	31	Pareto charts
11	Consequence/likelihood matrix	32	Privacy impact analysis/ data privacy impact assessment (PIA/DPIA)
12	Cost/benefit analysis	33	Reliability centred maintenance
13	Cross impact analysis	34	Risk indices
14	Decision tree analysis	35	S-curves
15	Delphi technique	36	Scenario analysis
16	Event tree analysis (ETA)	37	Structured or semi-structured interviews
17	Failure modes and effects analysis (FMEA)	38	Structured "What if?" (SWIFT)
18	Failure modes and effects and criticality analysis (FMECA)	39	Surveys
19	Fault tree analysis (FTA)	40	Toxicological risk assessment
20	F-N diagrams	41	Value at risk (VaR)
21	Game theory		

Fonte: Adaptado de ISO/IEC (2019)

Entre as muitas técnicas e ferramentas existentes, algumas merecem especial atenção no contexto da presente dissertação, uma vez que constituem a base para a criação do modelo de gestão do risco proposto adiante. São elas:

- Técnica Delphi;
- *Brainstorming*;
- FMEA;
- Lógica / Conjuntos *Fuzzy* (não especificado na Tabela 2.9);
- Análise de Decisão Multicritério - Métodos *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*; (*Fuzzy AHP*) e *Combined Compromise Solution (CoCoSo)*;
- Método *BowTie* (Combinação Árvore de Falhas e Árvore de Eventos);
- Simulação de Monte Carlo.

A aplicabilidade das técnicas e ferramentas ao longo do processo de gestão do risco, conforme definido pela ISO 31000, é ilustrada na Tabela 2.10 e pode ser consultada na íntegra no Anexo 4, onde marcação a verde significa que é fortemente aplicável, a amarelo aplicável e a vermelho não é aplicável.

Tabela 2.10 - Aplicabilidade de técnicas e ferramentas da Gestão do Risco

Técnicas e Ferramentas	Identificação do Risco	Análise do Risco			Avaliação do Risco
		I (R)	P (R)	Nível de Risco	
<i>Delphi technique</i>	✓	x	x	x	x
<i>Brainstorming</i>	✓	✓	x	x	x
<i>Failure modes and effects analysis (FMEA)</i>	✓	✓	x	x	x
<i>Multi-criteria analysis (MCA)</i>	✓	x	x	x	✓
<i>Bow tie analysis</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Fault tree analysis (FTA)</i>	✓	x	✓	✓	✓
<i>Event tree analysis (ETA)</i>	x	✓	✓	✓	✓
<i>Monte Carlo simulation</i>	x	✓	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado de ISO/IEC (2019)

Algumas das razões subjacentes à escolha destas técnicas podem resumir-se nos seguintes pontos:

- A Técnica Delphi e o *Brainstorming* são referências consolidadas na identificação de riscos, muito populares na literatura.
- O FMEA apresenta elevada aplicabilidade em contextos industriais, permitindo identificar e avaliar falhas de forma estruturada. Trata-se de uma técnica comum em projetos.
- A Análise de Decisão Multicritério possibilita a avaliação do risco com base em múltiplos critérios simultaneamente.

- Os conjuntos difusos complementam outras técnicas, possibilitando lidar com incertezas e subjetividades na avaliação dos riscos.
- O *BowTie* permite integrar a abordagem qualitativa e quantitativa na análise do risco de forma robusta. Pode ser desenvolvido através da combinação de árvores de falhas com árvores de eventos, que são comuns em análise de riscos em projetos.
- A Simulação de Monte Carlo fornece uma avaliação robusta da incerteza e da variabilidade dos riscos, permitindo quantificar probabilidades de forma estatisticamente consistente.

Estas técnicas e ferramentas serão abordadas entre os subcapítulos 2.4.1 e 2.4.7, onde são contextualizadas e analisadas, apresentando com maior detalhe os principais fatores que justificam a sua contribuição no desenvolvimento do modelo proposto no Capítulo 4.

2.4.1 Técnica Delphi

A técnica Delphi pode ser entendida como um processo anónimo e iterativo de recolha de julgamentos de especialistas sobre uma questão específica, com o objetivo de obter consenso sobre o tópico em discussão, permitindo identificar a opinião mais fiável (Lund, 2020; Naisola-Ruiter, 2022).

Trata-se de um método bastante robusto que, ao recorrer a um processo iterativo, permite que os participantes reconheçam se as suas ideias estão, ou não, alinhadas com as do grupo, podendo ajustá-las em conformidade (Lund, 2020).

Uma das vantagens que justifica a sua aplicação é o facto de, ao recorrer ao conhecimento de vários especialistas, permitir realizar uma previsão mais robusta sobre um determinado assunto, em vez de previsões feitas com base na opinião de um único especialista (Naisola-Ruiter, 2022).

2.4.2 Brainstorming

Esta técnica é amplamente utilizada na gestão de projetos e consiste em gerar um conjunto de ideias num curto espaço de tempo, sendo realizada em grupo e liderada por um facilitador. A técnica divide-se, de forma geral, em duas partes: a geração de ideias e a análise das mesmas. É aplicada na recolha de dados, ideias ou soluções, tanto de

stakeholders como de especialistas no assunto, ou ainda de membros da equipa do projeto envolvidos na elaboração do termo de abertura do projeto (PMI, 2017).

Trata-se de uma abordagem iterativa cujo sucesso depende fortemente da experiência e das competências dos participantes, bem como da competência do facilitador. No contexto dos projetos, esta técnica é utilizada na identificação inicial de uma vasta gama de potenciais riscos, resultando daí uma listagem abrangente (Carvalho & Bernardo, 2023; Kasap & Kaymak, 2007; Miguel, 2024; PMI, 2017).

2.4.3 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

O surgimento desta técnica remonta à década de 1940, na indústria de defesa dos Estados Unidos da América, onde foi inicialmente aplicada aos seus produtos militares. Posteriormente, foi formalizada no padrão militar MIL-STD-1629A, do Departamento de Defesa dos EUA, publicado em 1980 (Guerrero & Bradley, 2013).

Esta técnica permite identificar e avaliar antecipadamente os potenciais modos de falha (ou seja, a forma como uma falha pode ocorrer) que possam existir nas várias etapas de conceção do produto, dos processos ou do serviço, propondo melhorias de forma atempada. Desta forma, permite reduzir o tempo e os custos, garantindo que a falha não chega ao cliente e aumentando a qualidade, a fiabilidade e/ou a durabilidade do produto ou serviço (Stamatis, 2003; Wu *et al.*, 2021).

Como qualquer recurso é limitado, o objetivo do FMEA consiste em priorizar os modos de falha, de forma a que os recursos sejam alocados aos modos mais críticos (risco elevado), contribuindo assim para uma tomada de decisão suportada pela gestão do risco (Liu *et al.*, 2013).

Numa fase inicial, é formada uma equipa multifuncional composta por um vasto leque de especialistas em diversas áreas, que identificam todos os possíveis modos de falha através de uma sessão de *brainstorming* sistemático. Para cada modo de falha, importa identificar e descrever os seus efeitos, as respetivas causas e a atual capacidade de deteção e controlo (Wu *et al.*, 2021).

Para cada modo de falha identificado, são atribuídos valores de classificação às três variáveis consideradas no FMEA:

- **Severidade (S):** gravidade do efeito causado pela ocorrência da falha (impacto)
- **Ocorrência (O):** frequência de ocorrência da falha (probabilidade)
- **Detetabilidade (D):** capacidade existente para detetar a falha antecipadamente.

Tipicamente, no FMEA, é utilizada uma escala de classificação de 0 a 10 para avaliar os três parâmetros (S, O e D), como exemplifica a escala apresentada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Exemplo de uma escala típica (0-10) de classificação para a Severidade, Ocorrência e Detetabilidade.

Severidade	Ocorrência	Detetabilidade	Classificação
Exceccionalmente alta	Exceccionalmente alta	Exceccionalmente baixa	10
Muito alta	Muito alta	Muito baixa	9
Moderadamente alta	Moderadamente alta	Baixa	8
Alta	Alta	Ligeiramente baixa	7
Ligeiramente alta	Ligeiramente alta	Média	6
Média	Média	Ligeiramente alta	5
Ligeiramente baixa	Ligeiramente baixa	Alta	4
Baixa	Baixa	Moderadamente alta	3
Muito baixa	Muito baixa	Muito alta	2
Exceccionalmente baixa	Exceccionalmente baixa	Exceccionalmente alta	1

Fonte: adaptado de Chang et al. (2023)

Através do produto das três classificações atribuídas obtém-se o número de risco prioritário (*Risk Priority Number – RPN*), apresentado na Equação 2.2. Posteriormente, as medidas de controlo são priorizadas para os modos de falha críticos que apresentem um nível de risco significativo, isto é, um valor de RPN elevado (Liu *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2021).

$$RPN = O \cdot S \cdot D \quad (2.2)$$

Para facilitar a compreensão da técnica, o Anexo 5 apresenta o fluxograma completo da aplicação de uma análise FMEA, que sintetiza grande parte do conteúdo abordado anteriormente neste subcapítulo

Todavia, a literatura não refere apenas os vastos benefícios da ferramenta, mas também algumas das suas limitações. Nesse sentido, Huang *et al.* (2020), apresentam algumas das limitações do FMEA identificadas na literatura, entre as quais se destacam:

- A importância relativa entre O, S e D não é considerada;
- Diferentes combinações de O, S e D podem produzir exatamente o mesmo valor de RPN, embora as suas implicações no risco oculto possam ser totalmente diferentes;
- Os três fatores de risco são difíceis de avaliar com precisão;
- A fórmula matemática utilizada para calcular o RPN é questionável e discutível;
- Os valores de RPN não são contínuos;

- A forma matemática adotada para calcular o RPN é altamente sensível a variações nas avaliações dos fatores de risco;
- Os valores de RPN apresentam múltiplos números duplicados.

No sentido de ultrapassar algumas das suas limitações do FMEA, a técnica tem vindo a ser combinada com a utilização de modelos de decisão multicritério, em inglês, *Multi-Criteria Decision-Making* (MCDM) (Djenadic et al., 2022; Huang et al., 2020; Liu et al., 2019).

Também a lógica difusa (*fuzzy logic*) e os conjuntos difusos têm vindo a ser aplicados para tornar o FMEA uma técnica mais robusta, uma vez que permitem contemplar a incerteza associada ao julgamento dos especialistas, nomeadamente na classificação dos parâmetros S, O e D (Djenadic et al., 2022).

2.4.4 Lógica e Conjuntos Difusos

Em 1965, Lotfi Asker Zadeh, professor na Universidade da Califórnia, publicou o primeiro artigo, sobre o tema, intitulado por “*Fuzzy Sets*” (Zadeh, 1965). Nesse artigo, Zadeh expôs a teoria dos conjuntos difusos que procede a lógica *fuzzy* e que permitiu representar e manipular dados que envolvem incerteza, ou que não são bem definidos.

Os estudos de Zadeh precedem um período em que a teoria dominante na quantificação da incerteza em modelos científicos, desde o final do século XIX, até ao final do século XX, era a teoria das probabilidades. Nesse contexto, começaram a surgir outras abordagens, como a de Max Black, em 1937, que desenvolveu estudos sobre a vaguidade (Ross, 2010).

Segundo Zadeh, uma das principais contribuições da lógica *fuzzy* é o seu elevado poder de representar com precisão aquilo que é, por natureza, impreciso (Zadeh, 2008). Esta lógica fornece uma base que permite a transição do binário para o gradual, do preto e branco para os tons de cinzento, sendo, portanto, capaz de lidar com fronteiras imprecisas, típicas e predominantes na cognição humana (Zadeh, 2015).

A lógica booleana caracteriza-se por as suas variáveis poderem assumir apenas dois valores, 0 e 1, que correspondem, respetivamente, a Falso (0) e Verdadeiro (1). Já a lógica *fuzzy* surge como um complemento à lógica booleana, introduzindo a capacidade das variáveis poderem assumir qualquer valor dentro do intervalo entre 0 e 1. A Figura 2.11 ilustra este conceito: no conjunto clássico (*crisp*) A, representado em (a), o ponto “b” está claramente fora do conjunto, enquanto o ponto “a” se encontra claramente

dentro. O mesmo acontece no conjunto difuso representado em (b), contudo existe um terceiro ponto, “c”, que se situa na fronteira do conjunto. Assim, pode afirmar-se que “c” pertence parcialmente ao conjunto difuso (Ross, 2010).

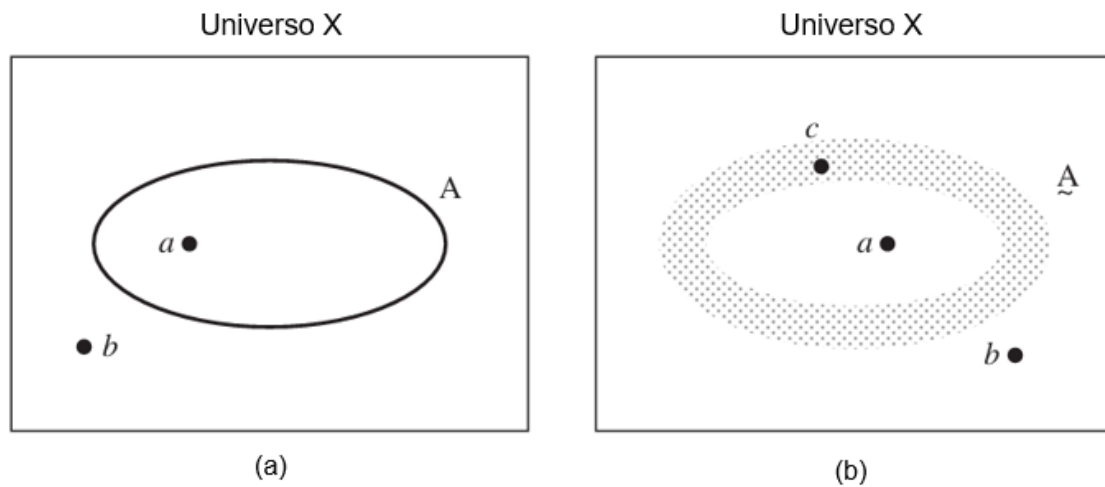


Figura 2.11 - Conjunto Crisp (a) e Conjunto Fuzzy (b).

Fonte: Adaptado de Ross (2010)

A pertença parcial a um conjunto *fuzzy*, como ilustrado na Figura 2.11, pode ser quantificada através do grau de pertença, que indica a intensidade com que um elemento x pertence a um determinado conjunto. Esse grau varia entre 0 e 1, sendo que 0 representa “não é membro do conjunto” e 1 representa “membro completo do conjunto” (Saatchi, 2024).

2.4.4.1 Definição

Com base nas Equações 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, a definição dos conjuntos difusos pode ser entendida da seguinte forma (Zadeh, 1965):

Considere-se X um conjunto finito e não vazio, constituído por elementos genéricos x :

$$X = \{x_1, \dots, x_n\} \quad (2.3)$$

Considere-se um conjunto A (*fuzzy*), em que $A \subseteq X$, caracterizado pela função de pertença $\mu_A(x)$, que permite associar a cada elemento de X , um valor no intervalo $[0, 1]$, isto é:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (2.4)$$

Assim, o conjunto difuso A , em X , pode ser definido, na sua totalidade, por um par ordenado:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2.5)$$

Segundo Kumar *et al.* (2022), os conjuntos *fuzzy* são uma extensão e generalização dos conjuntos clássicos (*crisp*). Se A não fosse um conjunto *fuzzy*, mas sim um conjunto clássico, então:

$$\mu_A(x): X \rightarrow \{0,1\} \quad (2.6)$$

Isto é, a função de pertença apenas poderia assumir o valor “0”, caso x não fosse elemento do conjunto A ou “1”, caso fosse elemento do conjunto.

2.4.4.2 Função de pertença triangular

Os conjuntos difusos utilizam funções de pertença para associar a cada elemento um grau de pertença, que varia entre 0 e 1, sendo que as mais utilizadas, e que podem ser consultadas no Anexo 6, enquadram-se em quatro tipos principais (MathWorks, 2018):

- funções lineares;
- funções gaussianas;
- curvas sigmóides;
- curvas polinomiais.

Entre os quatro tipos de funções de pertença, as que revelam maior simplicidade na sua aplicação são as funções lineares, sendo a função triangular a mais elementar entre elas (MathWorks, 2018).

A função de pertença triangular pode ser representada por um número difuso “ P ” (Equação 2.7), definido com base em três pontos, em que o parâmetro “ l ” representa o valor mínimo, o parâmetro “ m ” representa o valor mais provável e o parâmetro “ u ” representa o valor máximo (Peng *et al.*, 2021).

$$P = (l, m, u) \quad (2.7)$$

Assim a função de pertença triangular, pode ser definida pela Equação 2.8.

$$\mu(x | M) = \begin{cases} 0 & (x < l) \\ \frac{x-l}{\mu-l} & (l \leq x < m) \\ \frac{\mu-x}{\mu-m} & (m \leq x < \mu) \\ 0 & (x \geq \mu) \end{cases} \quad (2.8)$$

Figura 2.12 ilustra a função triangular definida pelo número difuso "P".

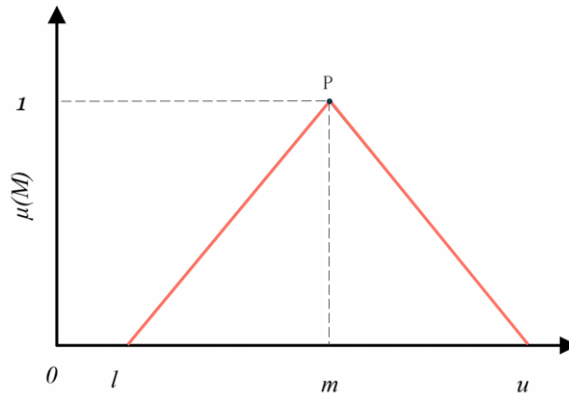


Figura 2.12 - Parâmetros de uma função triangular de um número difuso (P).

Adaptado de Peng et al. (2021)

Kutlu e Ekmekçioğlu (2012) e Safari et al. (2016) referem que os números difusos que definem uma função de pertinência triangular permitem efetuar operações aritméticas. Considerando dois números difusos triangulares (Equação 2.9 e 2.10), em que $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ e $b_1 \leq b_2 \leq b_3$, os autores descrevem operações de adição (Equação 2.11), subtração (Equação 2.12), multiplicação (Equação 2.13), multiplicação por um número "r" real (Equação 2.14) e divisão (Equação 2.15).

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3) \quad (2.9)$$

$$\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3) \quad (2.10)$$

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2.11)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (2.12)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = (a_1 a_2, b_1 b_2, a_3 b_3) \quad (2.13)$$

$$r * \tilde{A} = (ra_1, ra_2, ra_3) \quad (2.14)$$

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right) \quad (2.15)$$

2.4.4.3 Variáveis Linguísticas

Na lógica *fuzzy*, é natural recorrer à utilização de termos não numéricos para caracterizar variáveis, ao contrário do que acontece no domínio da matemática. Sendo menos precisos do que os termos numéricos, os termos não numéricos permitem caracterizar fenómenos de elevada complexidade, que envolvem incerteza ou que não podem ser definidos com clareza (Mazurek *et al.*, 2021). Daí a importância das denominadas “variáveis linguísticas”.

Por exemplo, se a velocidade for interpretada através de variáveis linguísticas, pode definir-se o conjunto dos termos de acordo com a Equação 2.16.

$$Velocidade = \{baixa, média, alta\} \quad (2.16)$$

Seria assim possível definir, três funções de pertinência — $u_B(v)$; $u_M(v)$; $u_A(v)$ — que, em função dos valores de velocidade, atribuem um grau de pertinência a cada um dos conjuntos difusos representados pelos termos “Baixa”, “Média” e “Alta”. Logo, de acordo com a Figura 2.13, é membro do conjunto difuso:

- “Baixa”, a velocidade que se encontre no intervalo entre 0 e 50 m/s;
- “Média”, a velocidade que se encontre no intervalo entre 25 m/s e 75 m/s;
- “Alta”, a velocidade que se encontre no intervalo entre 50 e 100 m/s.

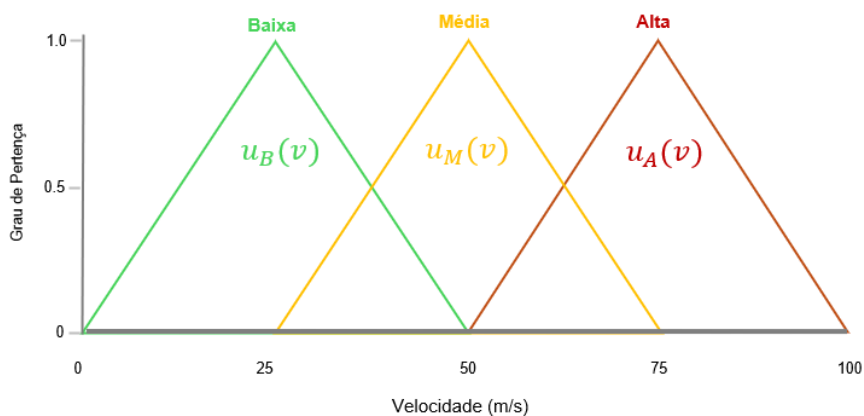


Figura 2.13 - Exemplo de variáveis linguísticas e funções de pertinência para a velocidade.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Lodhi e Pateriya (2020)

2.4.5 Análise de Decisão Multicritério

A tomada de decisões num ambiente de incerteza tem sido um dos maiores desafios para o ser humano desde as antigas civilizações (Molamohamadi *et al.*, 2024). Quando essa decisão envolve vários critérios, está-se perante um problema de decisão multicritério, em que o objetivo geral continua a ser identificar a melhor solução que satisfaça as preferências do decisor (Mazza *et al.*, 2024).

Assim, a determinação da melhor solução implica a comparação entre diferentes alternativas. Estas podem estar pré-determinadas ou, através da aplicação de uma metodologia adequada, ter de ser geradas de raiz. Com base nesta diferença, os problemas de MCDM categorizam-se em duas grandes famílias (Mazza *et al.*, 2024):

- Multi-Objective Decision Making (MODM): Quando se utilizam os métodos de MCDM para gerar a melhor solução (método de otimização);
- Multi-Attribute Decision Making (MADM): Quando existe, à partida, um conjunto inicial de alternativas e se pretende escolher a melhor entre elas.

Taherdoost e Madanchian (2023) apresentam um estudo sobre métodos e conceitos de decisão multicritério, no qual analisam artigos da base de dados *ScienceDirect*, publicados entre 2012 e 2022, sobre o tema. Os autores referem que a maioria dos artigos analisados se foca em problemas de MADM, representando cerca de 70%

Nesse estudo, Taherdoost e Madanchian (2023) analisam sessenta métodos de MCDM referidos na literatura, com base na sua frequência de citação. A Tabela 2.12 apresenta quarenta e dois desses métodos, cada um com pelo menos setenta artigos publicados, segundo o estudo.

Tabela 2.12 - Vários métodos MCDM.

Métodos de Tomada de Decisão Multicritério			
1	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>	22	<i>Analytic Network Process (ANP)</i>
2	<i>Fuzzy TOPSIS</i>	23	<i>Fuzzy ANP</i>
3	<i>ViseKriterijumska Optimizacijal Kompromisno Resenje (VIKOR)</i>	24	<i>Decision making trialand evaluation laboratory (DEMATEL)</i>
4	<i>Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)</i>	25	<i>Characteristic Objects METHod (COMET)</i>
5	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	26	<i>COmbined COmpromise SOLution (CoCoSo)</i>
6	<i>Fuzzy AHP</i>	27	<i>Multi-Attribute Value Theory (MAVT)</i>
7	<i>ELimination Et Choice Translating REality (ELECTRE)</i>	28	<i>Multi-Attribute Border Approximation Area Comparison (MABAC)</i>
8	<i>Data Envelopment Analysis (DEA)</i>	29	<i>Additive Ratio Assessment (ARAS)</i>
9	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART)</i>	30	<i>REGional Multicriteria Elimination (REGIME)</i>
10	<i>Goal Programming (GP)</i>	31	<i>Induced Ordered Weighted Averaging (IOWA)</i>
11	<i>Case-Based Reasoning (CBR)</i>	32	<i>Complex Proportional Assessment (COPRAS)</i>
12	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)</i>	33	<i>Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)</i>
13	<i>Simple Additive Weighting (SAW)</i>	34	<i>Lexicographic Method (LM)</i>
14	<i>Fuzzy Set Theory (FST)</i>	35	<i>Best-Worst Method (BWM)</i>
15	<i>Preference Ranking Global Frequencies in Multicriterion Analysis (PRAGMA)</i>	36	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)</i>
16	<i>QUALity by FLEXible multicriteria (QUALIFLEX)</i>	37	<i>Maximax</i>
17	<i>Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (Multi-MOORA)</i>	38	<i>TOmada de Decisão Interativa Multicritério (TODIM)</i>
18	<i>Grey analysis: Grey Relational Analysis/Grey Relational Model (GRA/GRM)</i>	39	<i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS)</i>
19	<i>Weighted Sum Model (WSA)</i>	40	<i>DEMATEL-based ANP (DANP)</i>
20	<i>Weighted Product Model (WPM)</i>	41	<i>KANO model/method</i>
21	<i>Dominance-based rough set approach (DRSA)</i>	42	<i>Intercriteria Decision Rule Approach (IDRA)</i>

Fonte: Adaptado de Taherdoost e Madanchian (2023)

De todos os métodos analisados no estudo de Taherdoost e Madanchian (2023), o AHP foi o que se revelou mais popular na literatura. Trata-se de um método que permite decompor um problema de forma hierárquica, dividindo-o em partes individuais. De

seguida, os decisores, através de comparações par a par, avaliam o efeito dos elementos considerados na estrutura hierárquica (Díaz *et al.*, 2022).

Contudo, o AHP apresenta algumas limitações, nomeadamente devido à incerteza inerente aos julgamentos. Em contextos de elevada incerteza, a conversão desses julgamentos em valores numéricos pode ser difícil, sendo que os especialistas se sentem mais confortáveis ao utilizar termos linguísticos para expressar as suas opiniões sobre determinado assunto. Nesse sentido, o AHP pode ser complementado com a lógica *fuzzy* (*Fuzzy AHP*), de forma a melhorar o seu desempenho, tal como ocorre com outros métodos de MCDM, nomeadamente o *Fuzzy TOPSIS* (Spanidis *et al.*, 2021).

O *Fuzzy AHP* tem vindo a ser amplamente aplicado e é considerado uma abordagem eficaz, nomeadamente na avaliação e gestão do risco (Dong *et al.*, 2025). Para além disso, é um método que tem vindo a ser combinado com outros métodos de MCDM, como o CoCoSo, de forma a melhorar o desempenho global do processo de tomada de decisão. Por exemplo:

- Choudhary e Mishra (2022) utilizaram a abordagem híbrida *Fuzzy AHP–CoCoSo* para determinar os fatores críticos de sucesso que facilitam a implementação da Indústria 4.0. Os resultados obtidos foram validados através da comparação com outros métodos e demonstraram a eficácia desta abordagem.
- Yazdani *et al.* (2025) aplicou o *Fuzzy AHP* em conjunto com o método CoCoSo na gestão de resíduos, de forma a enfrentar o desafio que consiste na seleção dos locais mais adequados para o seu descarte.

Nos dois casos referidos anteriormente, o *Fuzzy AHP* é utilizado no cálculo do peso dos critérios, através do uso de variáveis linguísticas, e posteriormente o CoCoSo auxilia na priorização das diversas alternativas em análise. Weerakoon *et al.* (2025) refere que as abordagens híbridas de MCDM são muito comuns, resultando da combinação de diferentes métodos (dois ou mais) para resolver problemas complexos com elevado grau de sucesso.

Dado que esta abordagem híbrida apresenta elevada aceitabilidade e aplicabilidade, os dois subcapítulos seguintes irão especificar a sua implementação de forma isolada, com o objetivo de facilitar o seu entendimento.

2.4.5.1 Fuzzy AHP

A combinação *Fuzzy AHP* foi proposta inicialmente por Chang, em 1996. É conhecida como *Extent Analysis* (Análise Estendida) e tem sido amplamente adotada na literatura para a derivação de pesos definidos (*crisp*) a partir de matrizes de comparação *fuzzy*. Nesta abordagem, cada critério ou alternativa é avaliado com base em variáveis linguísticas, sendo posteriormente aplicada a análise estendida para a obtenção dos resultados (Pehlivan *et al.*, 2018).

Yazdani *et al.* (2025) refere que esta abordagem possibilita uma análise mais detalhada dos pesos dos critérios, sendo especialmente vantajosa em situações de tomada de decisões complexas, mas quais o AHP tradicional pode não ser suficiente.

Os principais passos para a obtenção dos pesos dos critérios através da análise estendida são os seguintes (Pehlivan *et al.*, 2018):

1 – Definição da matriz (*fuzzy*) de comparações par a par $\tilde{D} = [\tilde{c}_{ij}]$, conforme ilustra a Equação 2.17.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{c}_{12} & \cdots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & (1,1,1) & \cdots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Onde, $\tilde{c}_{ij} \times \tilde{c}_{ji} \approx 1$ e todos os $\tilde{c}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ são números *fuzzy* triangulares, sendo que, na diagonal, o número *fuzzy* assume o valor (1,1,1) visto que se está a comparar o critério com ele próprio.

Liu *et al.* (2020) referem que, no caso de se estar perante uma decisão tomada por um grupo de especialistas, as suas opiniões devem ser agregadas numa única matriz par a par final. Nesse sentido, os autores, entre outras formas de agregação, destacam a média aritmética de todos os julgamentos como uma solução simples e eficaz para o fazer. Por exemplo, caso existam k decisores, a matriz agregada será dada pela Equação 2.18.

$$\tilde{D} = \frac{1}{k} (\tilde{D}_{decisor\ 1} + \tilde{D}_{decisor\ 2} + \cdots + \tilde{D}_{decisor\ k}) \quad (2.18)$$

2 – Cálculo da medida sintética S_i , de acordo com a Equação 2.19.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} \right]^{-1} \quad (2.19)$$

No cálculo da medida sintética, através da equação 2.19, são utilizadas, de forma intermédia, as Equações 2.20, 2.21 e 2.22.

$$\sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j \right) \quad (2.20)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (2.21)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (2.22)$$

3 – Comparação dos números *fuzzy*, em que o grau de possibilidade de $M_2 \geq M_1$ é calculado através da Equação 2.23.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) =$$

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{se } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{se } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.23)$$

Onde M_1 e M_2 são os números *fuzzy* apresentados nas Equações 2.24 e 2.25.

$$M_1 = (l_1, m_1, u_1) \quad (2.24)$$

$$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \quad (2.25)$$

Já "d" representa a ordenada do ponto de interseção "D" entre μ_{M_1} e μ_{M_2} , como demonstra a Figura 2.14.

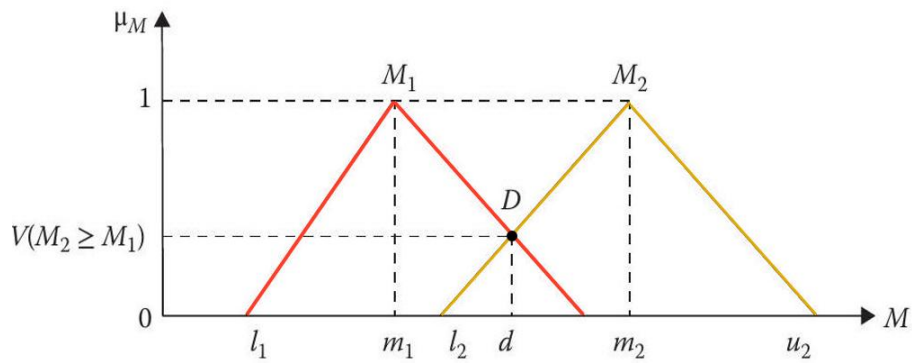


Figura 2.14 - Interseção e comparação entre o número fuzzy M1 e M2.

Fonte: Adaptado de Pehlivan et al. (2018)

4 – Verificação do grau de possibilidade de um número *fuzzy* ser maior do que k números *fuzzy* (Equação 2.26).

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (2.26)$$

Sendo $d'(C_i)$ dado pela Equação 2.27:

$$d'(C_i) = \min V(S_i \geq S_k), i, k = 1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (2.27)$$

Então, o vetor de pesos é obtido pela Equação 2.28.

$$W' = (d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_n))^T \quad (2.28)$$

5 – Normalização do vetor de pesos, sendo o vetor de pesos *crisp* dado pela Equação 2.29.

$$W = (d(C_1), d(C_2), \dots, d(C_n))^T \quad (2.29)$$

Para além dos passos da análise estendida referidos anteriormente, alguns autores, como Kutlu e Ekmekçioğlu (2012), enfatizam ainda a necessidade de realizar um passo adicional, que consiste em verificar a consistência dos julgamentos efetuados, tal como acontece no AHP tradicional.

Para isso, deve proceder-se à desfuzificação da matriz de comparações par a par, obtendo-se números *crisp*. Essa desfuzificação pode ser realizada, entre outras formas, pela Equação 2.30, sugerida por Kutlu e Ekmekçioğlu (2012), na qual se atribui um peso quatro vezes superior ao valor de pico da função triangular, em relação aos seus extremos.

$$\text{Número Crisp} = \frac{l + 4m + u}{6} \quad (2.30)$$

Após a desfuzificação, deve proceder-se ao cálculo do índice de consistência (*consistency index* - CI), através da Equação 2.31, onde n representa a dimensão da matriz de comparação (número de critérios) e $\lambda_{m\acute{a}x}$ representa o maior valor próprio da matriz de comparação.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (2.31)$$

Para isso, Frish *et al.* (2025) referem que se deve calcular-se $\lambda_{m\acute{a}x}$ de forma intermédia, de acordo com Equação 2.32.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \cdot W)_i}{W_i} \quad (2.32)$$

Onde A representa a matriz e W o vetor de pesos.

Posteriormente, calcula-se o rácio de consistência (*Consistency Ratio* – CR), que é dado pelo quociente entre o índice de consistência (CI) e o índice aleatório (*Random Index* – RI), conforme ilustrado na Equação 2.33.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.33)$$

O RI é um valor tabelado, determinado em função da dimensão da matriz, conforme apresentado na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Valor de RI em função da dimensão da matriz.

Valor de RI para diferentes valores de n										
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fonte: Saaty (2004)

Considera-se que o resultado das comparações efetuadas é aceitável apenas para valores de CR abaixo de 0,10 (10%), caso contrário, devem realizar-se novos julgamentos.

2.4.5.2 Combined Compromise Solution (CoCoSo)

O *Combined Compromise Solution*, proposto por Yazdani *et al.* (2019), é um método de tomada de decisão multicritério, relativamente recente.

Caracteriza-se por utilizar as técnicas de ponderação aditiva simples (*Simple Additive Weighting* - SAW) e o modelo do produto ponderado (*Weighted Product Model* - WPM). A combinação de estratégias aditivas e multiplicativas permite ao método ultrapassar algumas limitações dos métodos de MCDM tradicionais (Anes & Abreu, 2024; Thinh *et al.*, 2024).

A aplicação do método segue cinco passos principais (Yazdani *et al.*, 2019):

1 - Construção da matriz de decisão $X = (x_{ij})_{m \times n}$ ilustrada na Equação 2.34, onde j representa as variáveis de decisão (critérios) e i as diferentes alternativas em estudo.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.34)$$

2 - Normalização da matriz de decisão, utilizando a Equação 2.35, caso se trate de um critério de benefício, ou a Equação 2.36 se for um critério de custo.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.35)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.36)$$

3 - Cálculo da soma da matriz de comparabilidade ponderada e da potência da matriz de comparabilidade ponderada, através das Equações 2.37 e 2.38, respetivamente.

$$S_i = \sum_{j=i}^n (w_j \cdot r_{ij}) \quad (2.37)$$

$$P_i = \sum_{j=i}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (2.38)$$

4 - Cálculo do peso relativo das alternativas, através das Equações 2.39, 2.40 e 2.41, sendo que, na última, o coeficiente λ varia entre 0 e 1. Por norma, os tomadores de decisão utilizam $\lambda=0,5$.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (2.39)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i(S_i)} + \frac{P_i}{\min_i(P_i)} \quad (2.40)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda)P_i}{\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i}; \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (2.41)$$

5 - Classificação das alternativas de acordo com os respetivos valores de k , obtidos através da aplicação da Equação 2.42. Assim, cada uma das estratégias de agregação contribui para a equação que define o *ranking* final, não existindo, entre as ferramentas de MCDM, outro algoritmo que ofereça este tipo de agregação. Quanto maior for o valor de k , melhor será a classificação da alternativa.

$$k_i = (k_{ia} \cdot k_{ib} \cdot k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (2.42)$$

2.4.6 Método BowTie

Definir estratégias de resposta para enfrentar os riscos do projeto, tanto numa perspetiva preventiva como mitigadora, constitui um aspeto fundamental da Gestão de Riscos de Projetos. Nesse sentido, importa recorrer a métodos que integrem ambas as vertentes, como é o caso do BowTie (Zhang & Guan, 2018).

Embora as origens exatas do método não estejam claramente documentadas, a sua adoção formal remonta ao período subsequente ao trágico acidente ocorrido na plataforma petrolífera *Piper Alpha*, no Mar do Norte, em 1988. Foi nessa altura que o grupo Royal Dutch/Shell passou a incorporar este método como norma interna para a análise e gestão de riscos (Turner *et al.*, 2017).

O BowTie é tipicamente representado sob a forma de diagrama (Figura 2.15), constituindo uma representação gráfica que descreve os caminhos que ligam as causas de um determinado evento às suas possíveis consequências. Este tipo de representação permite visualizar, de forma clara, os controlos implementados para

reduzir a probabilidade de ocorrência do evento, bem como as medidas de mitigação dos seus impactos (ISO/IEC, 2019).

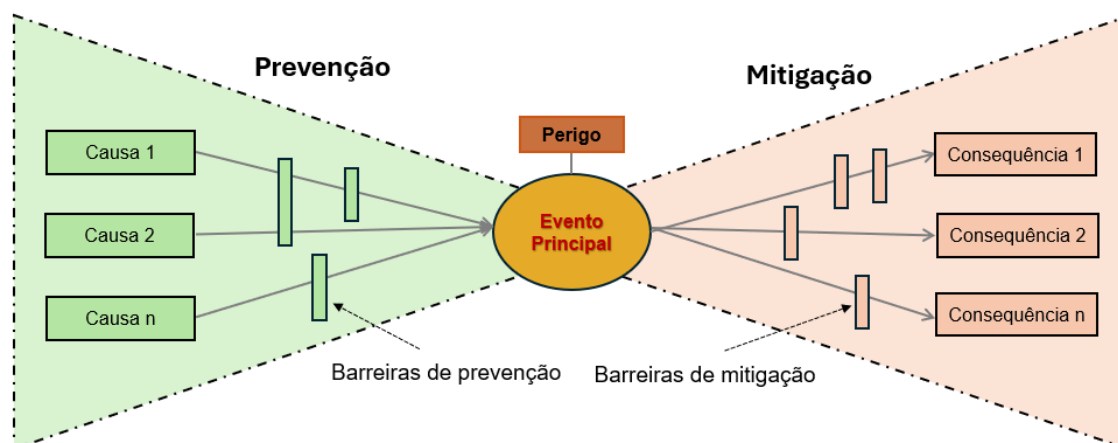


Figura 2.15 - Exemplo de um Diagrama BowTie.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ISO/IEC (2019)

O evento de topo (*top event*), localizado no centro do diagrama, corresponde ao evento indesejado que se pretende prevenir ou controlar, sendo único em cada **BowTie**. Na origem da sua ocorrência encontram-se as causas ou fontes de risco, que, no diagrama, se posicionam à esquerda (ou a montante). À direita (ou a jusante) são apresentadas as possíveis consequências decorrentes da ocorrência do evento de risco.

O diagrama inclui ainda barreiras de segurança, que podem ser de prevenção ou de mitigação. As barreiras de prevenção têm como objetivo impedir que as causas contribuam para a ocorrência do *top event* e são colocadas a montante do mesmo. A cada fonte de risco podem estar associadas várias barreiras de prevenção. Já as barreiras de mitigação têm como objetivo impedir ou reduzir a gravidade das consequências (ISO/IEC, 2019).

Entre as principais vantagens da utilização do diagrama destacam-se o facto de este fornecer uma representação simples e eficaz, facilitar a comunicação entre os intervenientes, não exigir um nível elevado de conhecimento e permitir focar nos possíveis controlos a implementar.

Uma das desvantagens reside no facto de, em cenários muito complexos, o diagrama poder tornar-se excessivamente simplista. Todavia, a ISO/IEC (2019) refere que o método pode ser compreendido a partir de outros mais complexos, como as **árvores de falhas** (focadas na análise das causas), e as **árvores de eventos** (focadas na análise das consequências).

2.4.6.1 Árvore de Falhas

A análise de árvore de falhas (*Fault Tree Analysis – FTA*) é uma técnica que permite identificar e analisar os fatores que contribuem para a ocorrência de um determinado evento indesejado (*top event*), representando o lado esquerdo do diagrama BowTie (De Ruijter & Guldenmund, 2016). Apesar de, na presente dissertação, ser utilizada no âmbito da gestão do risco, trata-se de uma técnica amplamente aplicada noutros domínios, como a ciência da computação, matemática, energia, ciência ambiental e as ciências da decisão (Yazdi *et al.*, 2023).

Consiste na elaboração de um fluxograma lógico que permite, de forma qualitativa, compreender os fatores e os percursos possíveis até à ocorrência do evento, e, de forma quantitativa, estimar a probabilidade de o *top event* ocorrer (ISO/IEC, 2019). Trata-se de um modelo gráfico e hierárquico que se inicia no *top event*, prossegue com a identificação dos eventos intermédios e das causas que lhe deram origem, e continua até serem identificadas as causas básicas, seguindo, assim, uma abordagem *top-down* (Guan *et al.*, 2024).

Os elementos da árvore são interligados graficamente através de portas lógicas que permitem, recorrendo à lógica booleana, descrever matematicamente as relações entre as diversas causas e eventos. A Figura 2.16 ilustra um exemplo de uma árvore de falhas.

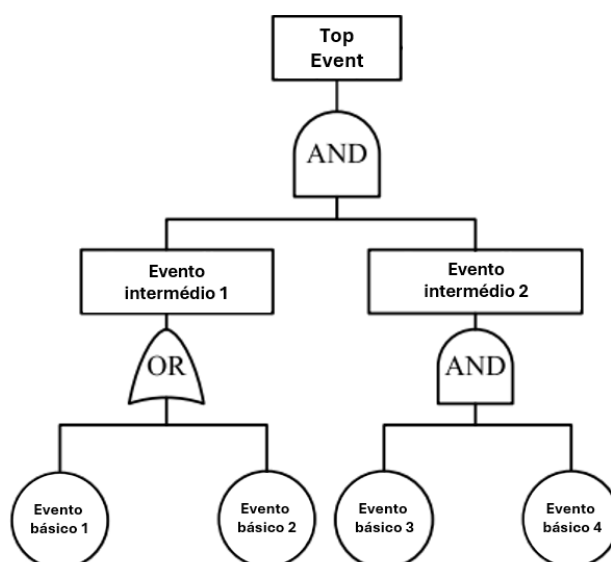


Figura 2.16 - Exemplo de uma árvore de falhas.

Fonte: Adaptado de Das *et al.* (2021)

Após a árvore de falhas estar estruturada, a sua análise quantitativa pode ser realizada através da atribuição de probabilidades aos eventos básicos, de forma a calcular a probabilidade de o evento de topo vir a ocorrer (Khakzad *et al.*, 2012).

Para a obtenção da probabilidade agregada do *top event*, a utilização de um modelo gráfico, como o diagrama de blocos de fiabilidade, ou RBD (*Reliability Block Diagram*), pode revelar-se útil, na medida em que permite simplificar a árvore estabelecida (García & Papić, 2015). O RBD permite estudar a fiabilidade de um determinado sistema (entendido como um conjunto de elementos organizados de forma lógica para o desempenho de uma função específica) através da representação gráfica da lógica do sistema (Jakkula *et al.*, 2020).

A associação de componentes pode ser feita em série (Figura 2.17(a)), em paralelo (Figura 2.17(b)) ou através de uma combinação de ambos. Num sistema em série, os componentes inter-relacionam-se de tal forma que o sistema apenas terá sucesso se todos os seus componentes também forem bem-sucedidos. Já num sistema em paralelo, este terá sucesso se qualquer um dos seus componentes o tiver.

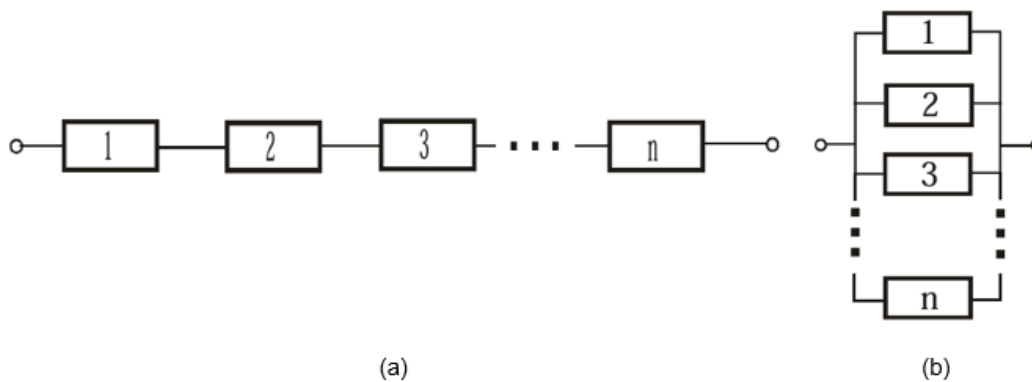


Figura 2.17 - RBD - Sistema em série (a) e sistema em paralelo (b)

Fonte: Adaptado de García e Papić (2015)

A probabilidade de sucesso e a probabilidade de falha relacionam-se através da Equação 2.43, onde F representa a probabilidade de falha e R a probabilidade de sucesso (*do inglês, reliability*).

$$F = 1 - R \quad (2.43)$$

Assim, na perspetiva da falha, a porta **OR** da árvore de falhas pode ser representada por um sistema em série, composto pelos elementos de entrada da porta. Basta que um dos componentes falhe para que todo o sistema falhe. A probabilidade de falha pode ser obtida através da Equação 2.44.

$$F_{série} = 1 - R_{série} = 1 - \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.44)$$

Onde, o índice *i*, representa os vários componentes.

Já a porta **AND** pode ser convertida num sistema em paralelo, no qual todos os componentes têm de falhar em simultâneo para que ocorra a falha. A probabilidade de falha pode ser obtida através da Equação 2.45.

$$F_{paralelo} = \prod_{i=1}^n F_i \quad (2.45)$$

2.4.6.2 Árvore de Eventos

Análise de Árvore de Eventos (*Event Tree Analysis* – ETA) é uma técnica indutiva, baseada em diagramas, que permite avaliar as prováveis consequências de um evento inicial, podendo ser aplicada de forma qualitativa ou quantitativa (Abad & Naeni, 2022). A técnica permite modelar sequências de eventos mutuamente exclusivas (isto é, que não ocorrem em simultâneo), que podem ocorrer na sequência de um evento iniciador, dependendo do desempenho (sucesso ou falha) dos controlos ou barreiras concebidos para mitigar as respetivas consequências (ISO/IEC, 2019).

A construção da árvore começa com o evento iniciador e, subsequentemente, para cada controlo estabelecido, traçam-se ramificações que representam o respetivo sucesso ou falha. A cada controlo pode ser associada uma probabilidade de sucesso ou de falha, estimada diretamente ou derivada de outras técnicas (ISO/IEC, 2019).

Cada caminho possível da árvore conduz a um desfecho distinto, cuja probabilidade de ocorrência é calculada através da multiplicação das probabilidades de todos os eventos que compõem esse percurso/ramo (Abad & Naeni, 2022).

A Figura 2.18 apresenta um exemplo de uma ETA.

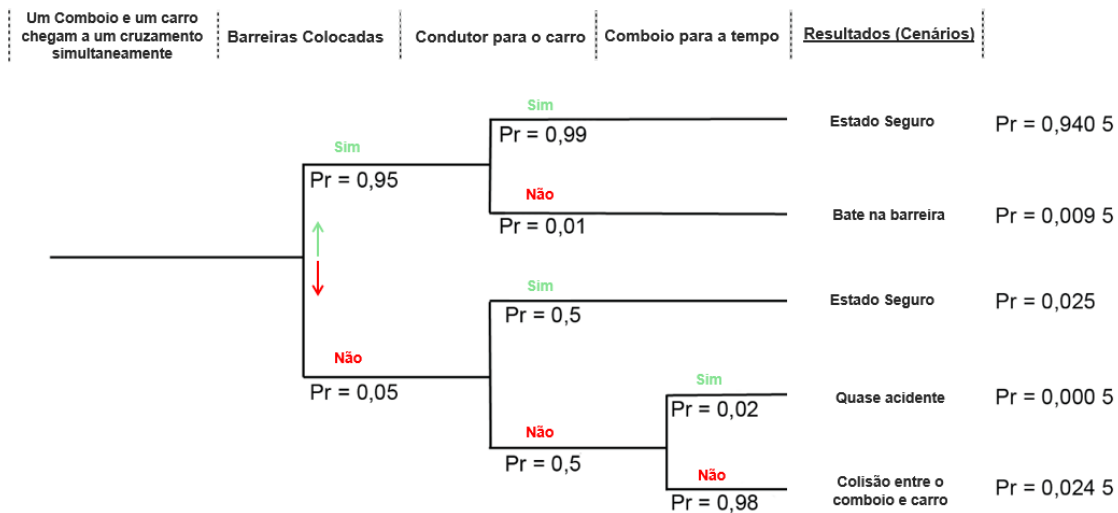


Figura 2.18 - Exemplo de uma árvore de eventos aplicada a um cenário de aproximação simultânea entre um comboio e um carro.

Fonte: Adaptado de ISO/IEC (2019)

Ao integrar a FTA com a ETA, o resultado da primeira constitui o ponto de partida da segunda, ou seja, a probabilidade do evento de topo (Abad & Naeni, 2022).

2.4.7 Método de Monte Carlo

A primeira referência ao Método de Monte Carlo remonta à sua utilização na experiência da “Agulha de Buffon”, em que se procurava estimar o valor de π , através de lançamentos repetidos de uma agulha (Brandimarte, 2014; Stevens, 2023). Posteriormente, já na década de 1930, o método foi utilizado por físicos como Enrico Fermi, Stanislaw Ulam e John von Neumann. A partir da década de 1950, demonstrou a sua utilidade no desenvolvimento da bomba de hidrogénio, altura em que recebeu a designação atual, derivada do casino de Monte Carlo, no Mónaco (Brandimarte, 2014).

Também designado por Simulação de Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation – MCS*), pode ser entendido como um cálculo experimental, no qual se utilizam números aleatórios para realizar experiências (Stevens, 2023).

A MCS permite obter a distribuição de probabilidade de uma variável dependente através de um processo de simulações sucessivas. Em cada simulação, são amostrados aleatoriamente determinados valores das variáveis independentes, que são utilizados para calcular um valor da variável dependente. Com base nesta função, realizam-se análises probabilísticas sobre a variável e estimam-se estatísticas de interesse, como a média ou o desvio padrão (Cardozo *et al.*, 2022; Stevens, 2023).

Trata-se, portanto, de um método estocástico, o que significa que utiliza amostras aleatórias dos valores de entrada para resolver um problema estatístico.

Sabri *et al.* (2024) refere que, ao estimar a probabilidade com um nível desejado de precisão, o número mínimo de amostras deve ser dez vezes superior ao inverso desse nível de precisão. Por exemplo, para obter um nível de precisão de 0,001 (0,1%) usando a MCS, devem ser geradas aleatoriamente, no mínimo, 10 000 amostras.

Atualmente, com as ferramentas e softwares existentes, o método é amplamente utilizado em diversas áreas científicas, dada a sua facilidade de aplicação, incluindo física, engenharia eletrotécnica, química, segurança, indústria, economia, entre outras, bem como na avaliação do risco em projetos (Senova *et al.*, 2023).

Entre as distribuições de probabilidade utilizadas, distinguem-se distribuições contínuas e discretas. No âmbito das distribuições contínuas, importa destacar a distribuição Normal, relevante no contexto desta dissertação, a qual pode ser definida com base em dois parâmetros: a média (medida central) e o desvio padrão (medida de dispersão).

Ao aplicar-se a MSC, devem ser considerados seis passos fundamentais (Díaz *et al.*, 2022):

- 1** - Definir o problema em termos de variáveis aleatórias;
- 2** - Quantificar as características probabilísticas das variáveis aleatórias com base em registos disponíveis e/ou na opinião de especialistas;
- 3** - Gerar valores para as variáveis aleatórias;
- 4** - Avaliar o problema de forma determinística para cada conjunto de realizações de todas as variáveis aleatórias;
- 5** - Extrair informação probabilística a partir das realizações;
- 6** - Avaliar a exatidão e a eficiência do processo de simulação.

Entre as principais vantagens da MCS destacam-se o facto de ser flexível em sistemas complexos, fornecer resultados precisos, ser eficiente na resolução de problemas e ainda incorporar modelos realistas. Como desvantagens surgem, entre outras, o elevado custo computacional para sistemas de grande dimensão ou simulações prolongadas, assim como a sensibilidade dos resultados às condições iniciais (Misiurev & Holcman, 2024).

2.5 Síntese e Análise Crítica

A revisão da literatura evidencia a crescente importância estratégica da gestão de projetos no alcance dos objetivos e na sustentabilidade organizacional. Verifica-se que houve uma evolução de práticas empíricas para modelos estruturados, reconhecendo o risco como elemento inerente aos projetos. Assim, a gestão do risco é hoje reconhecida como uma prática que assume um papel essencial para aumentar a eficácia e o sucesso dos resultados.

Apesar da existência de múltiplas abordagens metodológicas de gestão do risco, não existe ainda uniformidade global quanto a conceitos ou processos. Contudo, essas abordagens não são divergentes e podem ser consideradas complementares e úteis, uma vez que a combinação de diferentes contributos fortalece a gestão do risco, como acontece com processos propostos pela ISO 31000 e pelo PMBOK *Guide*.

Entre as metodologias de gestão do risco analisadas, verifica-se a ausência de um modelo que permita a integração efetiva entre a identificação, a avaliação e o tratamento dos riscos, combinando técnicas qualitativas e quantitativas adaptadas à realidade dos projetos.

Deste modo, constata-se a necessidade de um modelo integrador que combine, de forma estruturada, as dimensões qualitativas e quantitativas da gestão do risco em projetos, permitindo uma análise mais completa e fundamentada na tomada de decisão.

Assim, procura-se colmatar esta lacuna com o modelo híbrido apresentado nesta dissertação.

3 Estudo de Caso

O presente capítulo procura caracterizar o contexto organizacional e identificar as principais lacunas existentes na gestão de projetos, servindo de fundamento à proposta de um modelo de gestão do risco apresentada no capítulo seguinte.

Trata-se de um estudo de caso que tem por base o contexto real de uma empresa portuguesa, atualmente numa fase de crescimento da sua atividade para o mercado africano, nomeadamente na execução de projetos de eletricidade e instrumentação industrial (E&I, do inglês *Electrical and Instrumentation*).

3.1 A Empresa e os Projetos

Trata-se de uma empresa com mais de três décadas de existência e créditos firmados no mercado nacional e internacional, destacando-se pela qualidade dos projetos desenvolvidos na área E&I. Ao longo dos anos, a organização tem acompanhado a evolução tecnológica e industrial no setor do *oil & gas*, consolidando a sua experiência em projetos de elevada complexidade. Mais recentemente, a organização tem vindo a diversificar a sua atuação através do desenvolvimento de projetos sustentáveis, focados na transição energética e na promoção de soluções com energias verdes. A primazia pela qualidade, aliada ao *know-how* adquirido, posiciona a empresa como uma referência para clientes que, num contexto global de elevada competitividade, exigem elevados padrões de desempenho. A empresa apresenta um leque de soluções em especialidades distintas, nas áreas de eletricidade, instrumentação e automação industrial, nomeadamente, no desenvolvimento da fase de engenharia, instalação, comissionamento e *start-up* de sistemas industriais de:

- Eletricidade (baixa e média tensão);
- Telecomunicações;
- Videovigilância;

- Instrumentação;
- Detecção de fogo e gás;
- Automação.

Apesar de contar com departamentos de engenharia que abrangem diversas especialidades, o core business da empresa centra-se sobretudo nos trabalhos de instalação e construção realizados em plataformas industriais.

3.1.1 Indústrias e Clientes

A empresa desenvolveu ao longo dos anos projetos em diferentes indústrias, nomeadamente :

- Extrativa (minério, petróleo e gás);
- Petroquímica (transformação de gás e petróleo), ilustrado na Figura 3.1;
- Energias (gás, renováveis, nuclear e respetiva distribuição);
- Papel e Celulose;
- Química e Farmacêutica;
- Agroalimentar.

Estas indústrias encontram-se em constante desenvolvimento e atualização tecnológica, o que gera a existência de projetos de interesse estratégico para a empresa.



Figura 3.1 - Instalação industrial no setor petroquímico.

Fonte: Emerson Electric Co. (2025)

Contudo, os projetos não são, normalmente, adjudicados diretamente pelos proprietários destas indústrias. É habitual que a adjudicação ocorra através de um contrato EPC (*Engineering, Procurement and Construction*), em que o cliente final, proprietário da indústria, confia todo o trabalho a uma empresa de engenharia de grande dimensão, o chamado *EPC Contractor*. Trata-se de um contrato “chave na mão”, no qual o *Contractor* deve garantir a engenharia base, e por vezes de detalhe, o fornecimento de materiais e equipamentos, bem como a execução/construção do projeto.

Posteriormente, o *Contractor* tende a subcontratar as diversas especialidades necessárias à fase de construção, como civil, *piping* (tubagens), E&I, entre outras que possam ser incluídas no projeto. Além disso, podem também ser delegadas algumas responsabilidades relacionadas com fornecimentos específicos. A Figura 3.2 ilustra a estrutura referida.

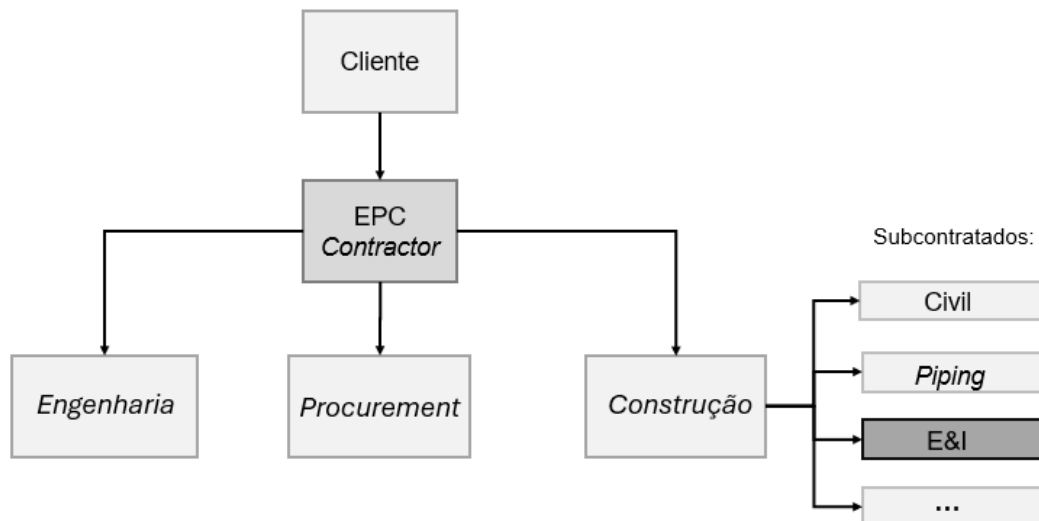


Figura 3.2 - Tipo de estrutura contratual / organização dos projetos

3.1.2 Trabalhos de Construção de E&I

Como referido anteriormente, a empresa de E&I é normalmente contratada para a fase de construção do projeto, desenvolvendo atividades em diferentes vertentes, das quais se destacam três tipos principais de trabalho: serralharia, eletricidade e instrumentação.

Trabalhos de Serralharia

Trata-se de atividades que envolvem fabricação e montagem de estruturas metálicas, nomeadamente:

- Instalação de suportes e de caminho de cabos metálicos, como ilustrado na Figura 3.3, permitindo o correto encaminhamento, organização e fixação dos cabos elétricos numa instalação industrial;
- Instalação de linhas de impulso (em tubo) que conectam os instrumentos às tubagens do processo industrial;
- Instalação de transformadores de potência;
- Instalação de quadros, painéis elétricos e de vários outros tipos equipamentos.



Figura 3.3 - Exemplo de caminho de cabos metálico.

Fonte: Eaton Corporation (2025)

Trabalhos de eletricidade

Envolvem, entre outros:

- Instalação de cabos elétricos em valas, caleiras, tubos ou caminhos de cabos;
- Ligações de cabos elétricos em quadros, painéis, motores e outros equipamentos;
- Instalação de iluminação;
- Instalação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas;
- Testes funcionais.

Trabalhos de instrumentação

Envolvem, entre outros:

- Instalação de cabos de instrumentação industrial;

- Calibração de instrumentos , comparando as medições dos instrumentos com padrões de referência de forma a verificar o bom funcionamento do equipamento assim como eventuais erros de medição;
- Testes funcionais.

A Figura 3.4 ilustra instrumentos normalmente utilizados.

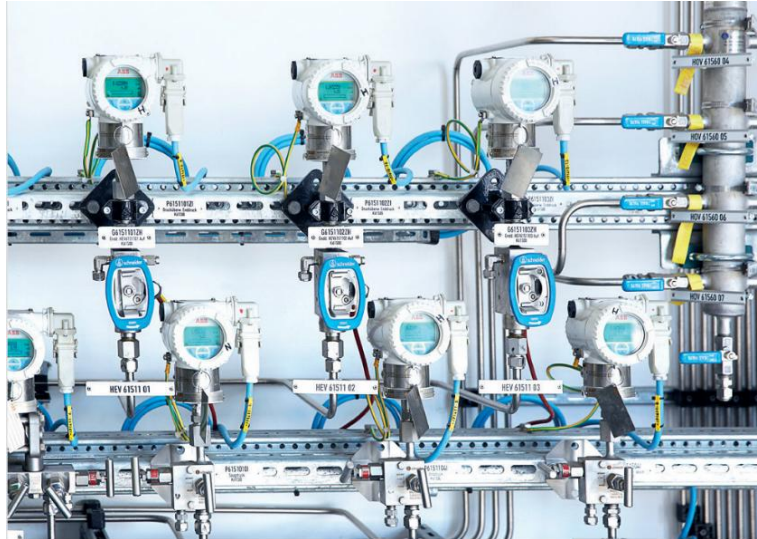


Figura 3.4 - Exemplo de instrumentos - Transmissores de Pressão.

Fonte: ABB (2019)

3.2 Identificação e análise do problema industrial

Ao longo dos últimos anos, a empresa consolidou a sua presença no mercado nacional e internacional, participando em projetos de elevada complexidade nos setores de *oil & gas* e energias renováveis. A aposta no mercado internacional, entre outros fatores, gerou novas oportunidades de negócio, aumentando a diversificação da base de clientes e tornando a empresa mais resiliente face a oscilações repentinas no mercado nacional, evitando dependência excessiva deste. A internacionalização abrangeu países na Europa, Ásia, América do Sul e África.

Nos próximos anos (2026-2031), estima-se um crescimento da atividade, sobretudo em África, com novos projetos a surgir em diferentes indústrias. Trata-se de projetos estratégicos que contribuem para o desenvolvimento do continente em termos de infraestruturas energéticas, destacando-se a produção de energia a partir de fontes sustentáveis.

Contudo, o crescimento no mercado africano traz desafios acrescidos para a empresa, como operar em ambientes sociais, económicos e políticos instáveis, o que expõe a organização a níveis de risco significativamente superiores, particularmente devido a fatores intrínsecos ao local. A Tabela 3.1 apresenta alguns dos fatores de risco que contribuem para o aumento do risco na execução de projetos em África.

Tabela 3.1 - Alguns dos fatores de risco identificados

Fator de Risco	Descrição
Instabilidade política	Mudanças de governos, conflitos entre ideologias políticas e ausência de políticas consistentes que geram elevada incerteza no desenvolvimento de vários negócios, e, em particular, na execução de projetos, resultando em atrasos ou cancelamento.
Instabilidade macroeconómica	Elevadas flutuações cambiais dificultam a previsão de custos e receitas dos projetos, sendo um fator acrescido de incerteza para empresas estrangeiras.
Infraestruturas limitadas	Estradas degradadas, portos congestionados e redes energéticas pouco fiáveis afetam a mobilidade e atrasam projetos.
Climas extremos	Temperaturas elevadas, chuvas intensas podem afetar a produtividade da mão de obra e danificar equipamentos. Além disso, exigem medidas adicionais de saúde e segurança.
Insegurança	O clima de insegurança em alguns países do continente dificulta, e por vezes, interrompe o desenvolvimento de projetos.
Ineficiências logísticas	Processos alfandegários burocráticos, bem como a falta de fornecedores locais especializados aumentam os custos e tempos de transporte.

Apesar da crescente consciência da organização sobre a importância da gestão de riscos, as práticas em vigor são ainda insuficientes. A identificação de riscos ocorre sobretudo em reuniões de arranque (*kick-off meetings* internos) onde colaboram as várias direções de departamento. Todavia, os riscos identificados não têm um acompanhamento sistemático ao longo do projeto, o que limita a capacidade de resposta perante situações de potencial risco. A ausência de uma abordagem estruturada conduz a decisões *ad hoc*, baseadas em perceções individuais, sem qualquer suporte metodológico.

Perante o exposto, com o crescimento previsto neste continente nos próximos anos, perspetivam-se inúmeros problemas na gestão de projetos, uma vez que as equipas se encontram desprovidas de qualquer abordagem estruturada de gestão do risco que lhes permita tomar decisões fundamentadas e assertivas .

Assim, a principal lacuna na gestão de projetos, em particular nos projetos executados em África, tem a ver como a inexistência de suporte à tomada de decisão em contextos

de incerteza e risco, durante os projetos. Trata-se de um problema antigo, mas com elevado nível de prioridade de resolução dentro da organização.

3.3 Identificação e priorização das causas do problema

A identificação das causas do problema anteriormente referido foi realizada de forma estruturada, com recurso a um diagrama de Ishikawa. Para tal, desenvolveu-se uma sessão de *brainstorming* onde foram definidas as causas gerais e, dentro destas, causas mais específicas.

Tanto o *brainstorming* quanto o diagrama de Ishikawa são ferramentas extremamente úteis na análise de causas. A combinação de ambas é especialmente eficaz: o *brainstorming* facilita a geração colaborativa de ideias e a identificação de possíveis causas de um problema, enquanto o diagrama de Ishikawa organiza essas causas em categorias, estabelecendo claramente a relação entre o problema e seus diversos fatores em cada categoria (ISO/IEC, 2019; Juran & Godfrey, 1999).

Neste *brainstorming* participaram seis especialistas, cujo critério de seleção foi o facto de estarem envolvidos em projetos realizados em África nos últimos dois anos. Numa primeira fase, os especialistas apresentaram individualmente várias contribuições e, de seguida, procedeu-se a uma fase de discussão conjunta orientada para a consolidação das ideias, sendo as contribuições agrupadas por afinidade temática no diagrama de Ishikawa e validadas através do consenso entre os participantes.

Entre as causas identificadas pelos especialistas, procedeu-se à priorização das mesmas, de modo a verificar quais apresentam maior relevância para o problema em estudo. A identificação das causas permite definir com maior clareza as principais áreas de atuação numa proposta de melhoria. Para realizar a priorização, as causas foram avaliadas numa escala de 1 a 10, em que a pontuação máxima (10) representa uma causa com contributo muito significativo para a existência do problema, e a pontuação mínima (1) indica uma causa com impacto praticamente nulo. Esta escala foi escolhida pela sua simplicidade, pela utilização comum em sessões de *brainstorming* estruturado e pela facilidade de interpretação.

Após a ponderação feita pelos especialistas, calculou-se a média aritmética das pontuações, tendo-se verificado que a principal causa tem a ver com inexistência de uma ferramenta metodológica que permita ao gestor e à restante equipa realizar uma gestão eficaz do risco no projeto. A Tabela 3.2 ilustra a pontuação média por opção.

Tabela 3.2 - Priorização de causas do problema

Causa Geral	Causa específica	Média	Classificação
Recursos	Relutância à mudança	6,33	6
	Sem formação em GP ou GR	5,83	8
	Sem recursos humanos e financeiros para a GR	3,83	10
Organização	Dificuldade na definição de prioridades	4,00	9
	Gestores de projeto sobrecarregados	6,17	7
Tecnologia	Inexistência <i>software</i> específico	6,50	5
Comunicação	Pouca comunicação entre Gestores de Projetos	6,83	3
	Pouca comunicação entre departamentos	6,67	4
Metodologia	Inexistência de uma ferramenta metodológica	8,67	1
	Práticas existentes sem continuidade no decorrer do projeto	7,67	2

Assim, o facto das causas de maior impacto se concentrarem na dimensão “Metodologia”, reforça a necessidade de uma ferramenta estruturada para a gestão do risco nos projetos desenvolvidos pela organização.

A Figura 3.5 ilustra o diagrama de Ishikawa desenvolvido.

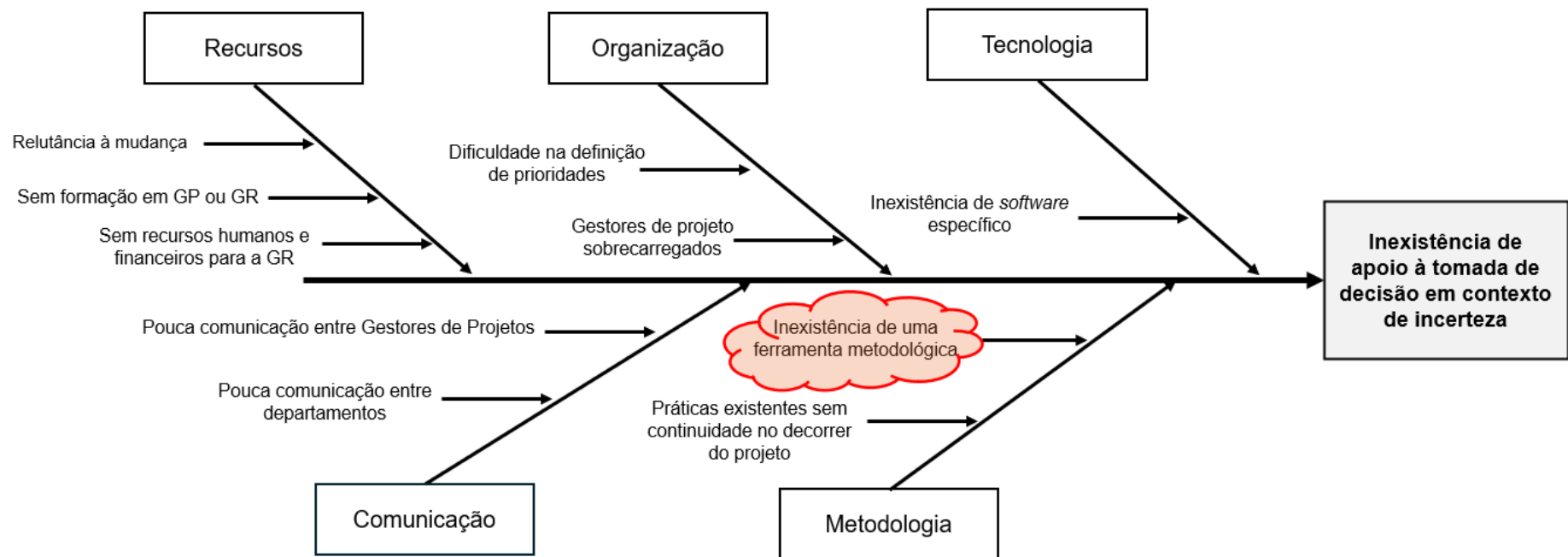


Figura 3.5 - Diagrama de Ishikawa desenvolvido com colaboração de especialistas

3.4 Impactos do problema

O problema identificado - inexistência suporte de apoio à tomada de decisão em contextos de incerteza – aumenta significativamente a probabilidade dos gestores de projeto tomarem decisões desajustadas, repercutindo-se de forma direta no desempenho/sucesso dos projetos e indireta sustentabilidade organizacional. Nos projetos executados no continente africano, os principais impactos concretos resultantes desta lacuna são:

- Custos de mão de obra acima do esperado por retrabalho e necessidade de laboração em horas extraordinárias com vista a recuperar de atrasos ou retificar erros decorrentes de decisões mal fundamentadas (atrasos logísticos, erros técnicos, falhas de procedimentos da qualidade).
- Falhas na qualidade, por se descuidar de procedimentos complexos que obrigam a inspeções adicionais, perda de confiança do cliente, repercutindo-se na não adjudicação de outros trabalhos.
- Atrasos significativos na entrega de pacotes de trabalho, ultrapassando *milestones* contratuais e que levaram à aplicação de penalidades contratuais severas. Estas cláusulas, típicas em contratos EPC, passam por compensações diárias após o *milestone* definido. Por vezes, ascendem a valores que afetam severamente a margem de lucro do projeto, comprometendo a sua rentabilidade

Já a nível da organização, os impactos fazem-se sentir indiretamente, levando a desentendimentos entre departamentos, mal-estar entre colaboradores, comprometimento da situação financeira por insucesso dos projetos.

3.5 Benefícios ao solucionar o problema identificado

Após a identificação do problema, das suas causas e consequências, é possível compreender que existem inúmeros benefícios, tanto ao nível dos projetos como da organização, em desenvolver uma solução implementável.

Ao eliminar esta limitação, os gestores poderiam tomar decisões mais informadas e consistentes em contextos de elevada incerteza, reduzindo a ocorrência de falhas graves e respostas reativas pouco eficazes.

Esta melhoria contribuiria para um maior controlo dos prazos e dos custos, bem como para a qualidade dos entregáveis.

Além disso, face ao contexto de incerteza, o reforço da capacidade de análise e reflexão antes da tomada de decisão permitiria otimizar o uso dos recursos do projeto, evitando desperdícios. Desta forma, aumenta-se a qualidade da decisão e, conseqüentemente, as probabilidades de sucesso dos projetos.

A nível organizacional, o ambiente tornar-se-ia mais colaborativo, permitindo que diferentes intervenientes contribuam com dados concretos para o processo de tomada de decisão, fomentando, assim, uma melhoria na comunicação interna. Para além disso, esta prática constituiria um fator de desenvolvimento da maturidade e da sustentabilidade organizacional.

4 Proposta de Modelo

Face às necessidades identificadas no estudo de caso, com a definição do problema específico da empresa e das respetivas causas principais, no presente capítulo apresenta-se um modelo que visa apoiar a equipa do projeto na tomada de decisão, com base na gestão do risco.

Este modelo, em linha com os objetivos delineados para a dissertação, visa colmatar algumas lacunas existentes na gestão do risco em projetos, nomeadamente a falta de um modelo integrador e robusto que agregue abordagens qualitativas e quantitativas de avaliação do risco.

4.1 O Modelo

O modelo proposto integra um conjunto de cinco fases principais, decorrentes da síntese dos contributos de diferentes métodos, técnicas e ferramentas de gestão do risco, abrangendo desde a identificação e avaliação até à resposta perante o risco. As cinco fases principais que compõem o modelo são:

- **Fase 1 - Identificação:** Pressupõe a realização de sessões de *brainstorming* e a aplicação da Técnica Delphi para identificar situações que possam comprometer o sucesso dos projetos.
- **Fase 2 - Cálculo do peso dos critérios:** Assenta na aplicação do método *Fuzzy AHP* para calcular a importância relativa dos critérios Severidade, Ocorrência e Detetabilidade (variáveis FMEA), que servem como critérios qualitativos de avaliação do risco. Nesta fase, recorre-se aos conjuntos difusos para lidar com a incerteza inerente ao julgamento dos especialistas.
- **Fase 3 - Priorização de modos de falha:** Baseia-se na aplicação do método CoCoSo, com o objetivo de priorizar os modos de falha identificados na Fase 1,

utilizando os critérios ponderados (da Fase 2) e, novamente, os conjuntos difusos nos julgamentos dos especialistas.

- **Fase 4 - Análise *BowTie* Quantitativa – Estado Atual:** A partir da priorização qualitativa realizada na Fase 3, os modos de falha mais críticos dão origem a um diagrama *BowTie* (composto pela agregação de árvores de falhas e eventos), que permite analisar quantitativamente as probabilidades e os impactos da ocorrência dos eventos de risco ao nível do projeto.
- **Fase 5 - Análise *BowTie* quantitativa – Estado Futuro:** Pressupõe a realização de uma nova estimativa das probabilidades em função dos níveis de impacto, após a proposta de medidas de prevenção e mitigação que apoiem a gestão do projeto na redução do nível de risco. Procedese, depois, à comparação com o estado atual, de modo a verificar a eficácia das futuras barreiras.

A Figura 4.1 apresenta uma visão geral das principais etapas, bem como das técnicas e ferramentas utilizadas, desde a identificação até ao momento de suporte à tomada de decisão.

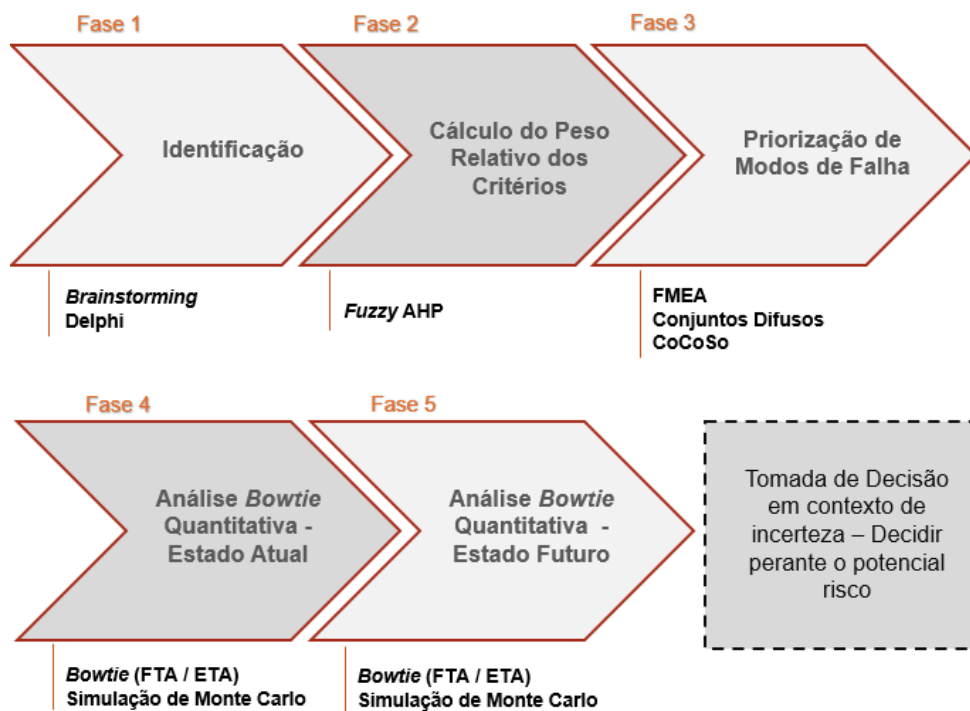


Figura 4.1 - Overview das principais fases do modelo, técnicas e ferramentas associadas

O fluxograma da Figura 4.2 ilustra, de forma genérica, os principais processos e pontos de decisão do modelo preconizado, que se dividem em três etapas do processo de

gestão do risco: identificação, avaliação e tratamento (nomeadamente no planeamento da resposta ao risco).

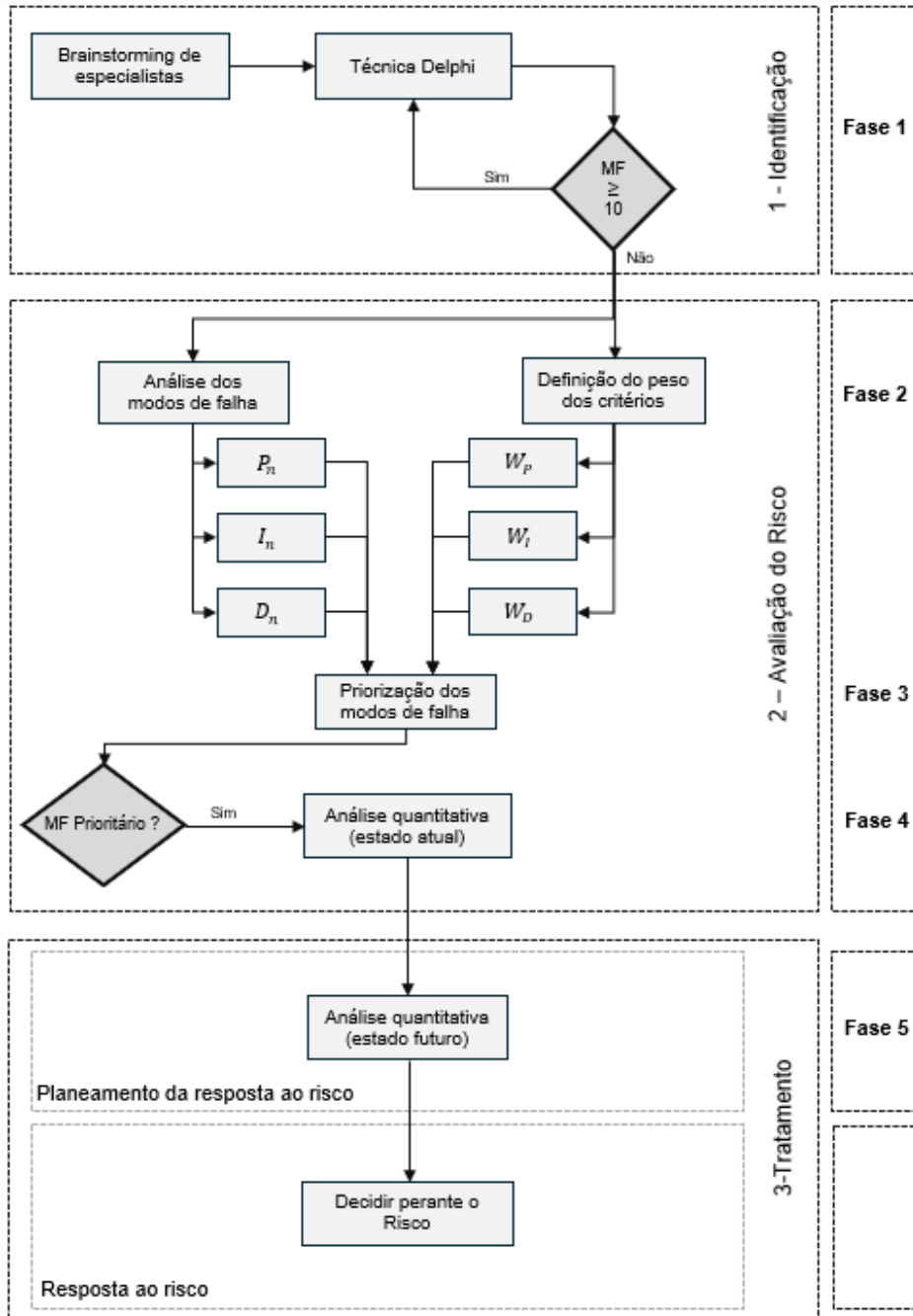


Figura 4.2 - Fluxograma ilustrativo do modelo

4.2 Descrição das Fases Principais

4.2.1 Fase 1 - Identificação

Na primeira fase do modelo preconizado recorre-se ao *brainstorming* de especialistas, neste caso gestores de projeto, com o objetivo de identificar o maior número possível de situações que possam afetar negativamente o sucesso dos projetos, ou seja, situações de risco.

Em complemento, deve aplicar-se a técnica de Delphi. A utilização desta técnica é particularmente importante, uma vez que, num *brainstorming*, podem ser identificadas diversas situações, sendo necessário alcançar um consenso relativamente às que realmente têm relevância.

Idealmente, sugere-se a constituição de uma equipa de especialistas com um número considerável de elementos (pelo menos cinco), que estejam diretamente envolvidos no projeto ou que possuam um elevado nível de conhecimento sobre o mesmo. Esta etapa também pressupõe a existência de um moderador que acompanhe as sessões realizadas, registe a informação e proceda ao tratamento dos dados recolhidos.

A Figura 4.3 apresenta a arquitetura genérica da Fase 1, onde a notação E1, E2, ..., En se refere aos especialistas envolvidos, e "m" ao número máximo de situações que se pretende identificar após o emprego da Técnica Delphi.

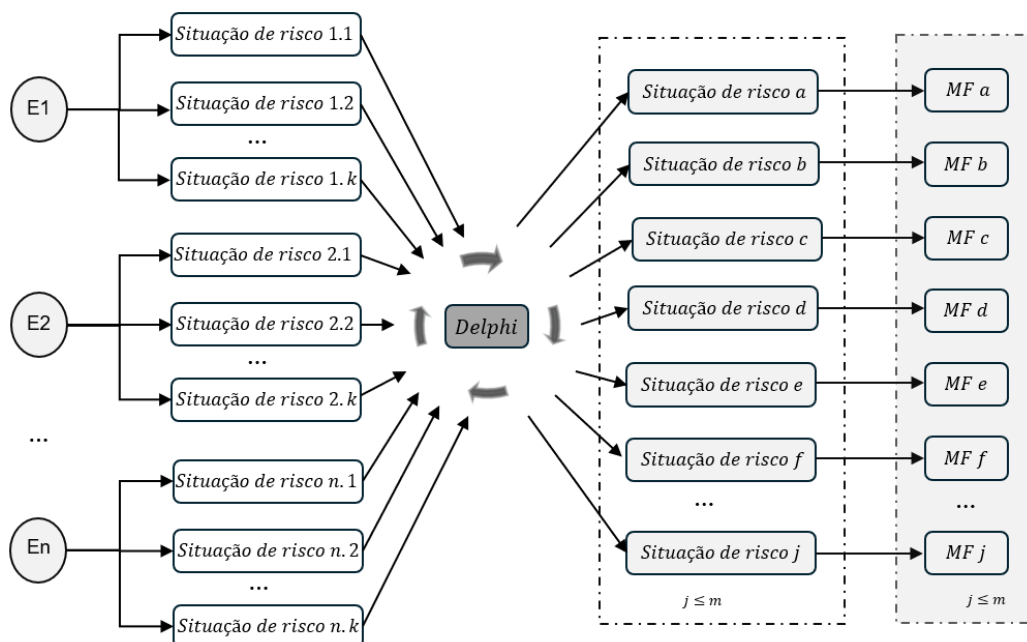


Figura 4.3 - Arquitetura da Fase 1

Apesar de a abordagem proposta permitir identificar diversos riscos, pode ser praticamente impossível selecionar todos. Nesse sentido, devem também ser considerados os riscos identificados através de:

- *Check-lists*;
- Entrevistas estruturadas (ou semiestruturadas);
- Análise de documentos;
- Formulários e questionários.

4.2.2 Fase 2 - Cálculo do peso relativo dos critérios

A segunda fase do modelo consiste na atribuição de pesos relativos aos critérios utilizados para avaliar o risco dos modos de falha identificados na fase anterior. Os critérios considerados correspondem às variáveis FMEA, referidas no Capítulo 2, aplicadas ao contexto do projeto:

- **Severidade:** O impacto que a ocorrência do evento de risco pode ter ao nível do projeto. Este critério contempla o impacto nos objetivos do projeto, nomeadamente ao nível do custo, do prazo, do âmbito e da qualidade.
- **Ocorrência:** Refere-se à probabilidade com que pode ocorrer o modo de falha no projeto.
- **Detetabilidade:** Refere-se à capacidade da equipa de projeto para detetar previamente o evento indesejado.

A utilização destes critérios constitui um contributo relevante para o modelo, uma vez que são intuitivos e têm origem na análise FMEA, amplamente utilizada na indústria e em diversos tipos de projeto. Estes critérios são independentes entre si e, além disso, conferem maior robustez ao modelo, permitindo não apenas avaliar a probabilidade e o impacto, mas também considerar a capacidade de deteção.

A quantificação da importância relativa de cada critério é realizada com base no método *Fuzzy AHP*. Esta escolha justifica-se por se tratar da integração de um dos métodos de ponderação de pesos relativos mais referidos na literatura (o AHP), com a lógica difusa, que permite representar e tratar a incerteza associada aos julgamentos dos especialistas.

Os especialistas efetuam julgamentos sobre a importância dos critérios, comparando-os entre si, par a par, através de termos linguísticos. Deste processo resultam diferentes

matrizes de comparação individuais, compostas por números *fuzzy* que representam as funções de pertinência correspondentes às variáveis linguísticas definidas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Escala de importância relativa entre critérios (S,O,D) considerando o termo linguístico e respectivo valor fuzzy.

Termos Linguísticos	Função de Pertinência Triangular	Valor Inverso
Importância Igual	(1,1,1)	(1,1,1)
Importância entre Igual e Moderada	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
Importância Moderada	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
Importância entre Moderada e Forte	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
Importância Forte	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
Importância entre Forte e Muito Forte	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
Importância Muito Forte	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
Importância entre Muito Forte e Absoluta	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
Importância Absoluta	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

Fonte: Adaptado de Yazdani et al. (2025)

Posteriormente, as matrizes individuais devem ser agregadas numa única matriz, aplicando-se de seguida os passos do método *Fuzzy AHP*, descritos no subcapítulo 2.4.5.1 (Capítulo 2), incluindo o passo final de verificação da consistência dos julgamentos dos especialistas. A Figura 4.4 apresenta a arquitetura genérica da Fase 2.

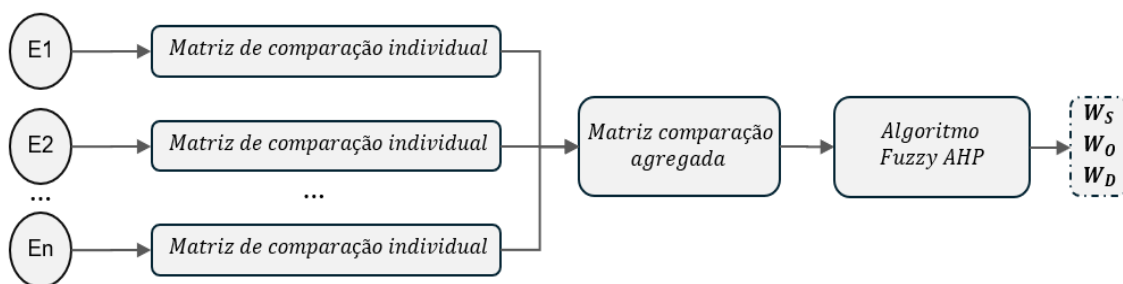


Figura 4.4 - Arquitetura da Fase 2

4.2.3 Fase 3 - Priorização dos modos de falha

A terceira fase do modelo corresponde à priorização dos diferentes modos de falha. Esta priorização é efetuada com base numa análise qualitativa do risco, recorrendo aos critérios previamente definidos (S, O, D).

Para lidar com a incerteza associada ao julgamento dos especialistas, recorre-se, uma vez mais, aos conjuntos difusos, atribuindo-se cinco termos linguísticos para classificar cada modo de falha (Tabela 4.2). Estes termos são posteriormente traduzidos de forma quantitativa através de funções de pertinência triangulares, que podem ser consultadas no Anexo 7.

Tabela 4.2 - Termos Linguísticos para avaliar os critérios/variáveis Severidade, Ocorrência e Detetabilidade.

Critério/ Variável	Termos Linguísticos	Função de Pertinência Triangular
Severidade (S)	Praticamente nula	(0, 0, 2.5)
	Baixa	(0, 2.5, 5)
	Média	(2.5, 5, 7.5)
	Alta	(5, 7.5, 10)
	Muito alta	(7.5, 10, 10)
Ocorrência (O)	Praticamente impossível	(0, 0, 2.5)
	Baixa	(0, 2.5, 5)
	Média	(2.5, 5, 7.5)
	Alta	(5, 7.5, 10)
	Praticamente certa	(7.5, 10, 10)
Detetabilidade (D)	Praticamente certa	(0, 0, 2.5)
	Alta	(0, 2.5, 5)
	Média	(2.5, 5, 7.5)
	Baixa	(5, 7.5, 10)
	Praticamente impossível	(7.5, 10, 10)

Do julgamento de cada especialista resulta uma matriz de decisão individual, na qual cada modo de falha é classificado de acordo com os três critérios. A Figura 4.5 exemplifica a construção da matriz de decisão de um especialista (E1).

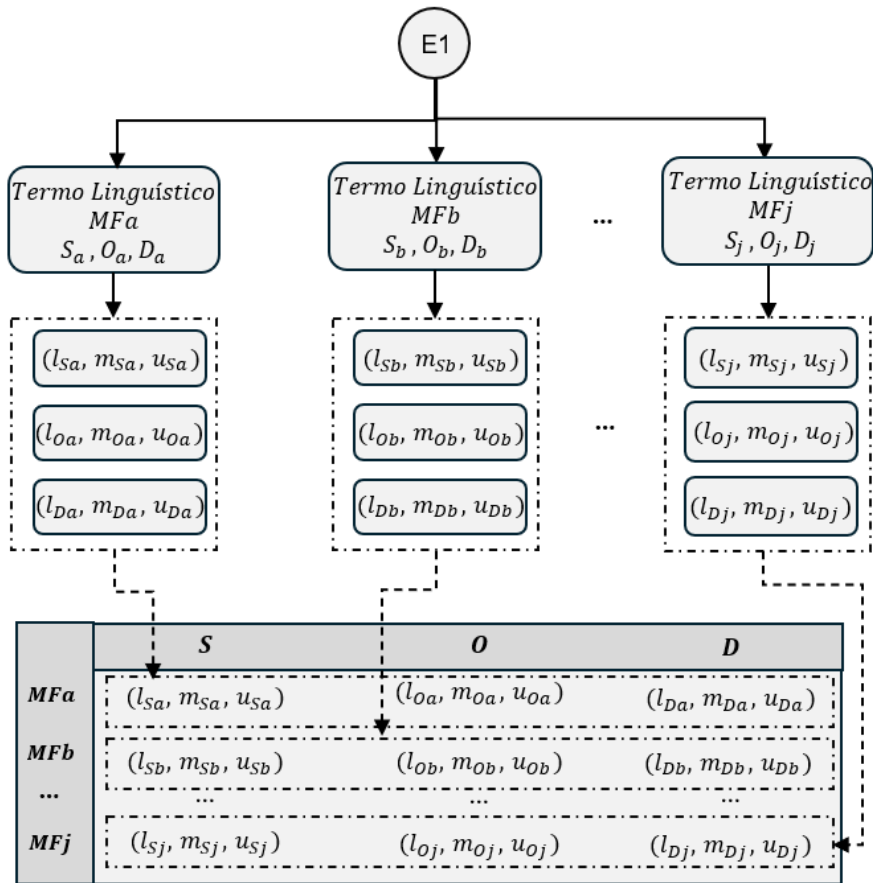


Figura 4.5 - Arquitetura Fase 3 – Exemplo de definição da matriz de decisão individual do especialista 1

Após todos os especialistas realizarem as suas avaliações, agregam-se as matrizes individuais, numa única matriz. Posteriormente, procede-se à desfuzificação da matriz de decisão agregada. A Figura 4.6 apresenta o processo de obtenção da matriz de decisão agregada *crisp* (desfuzificada).

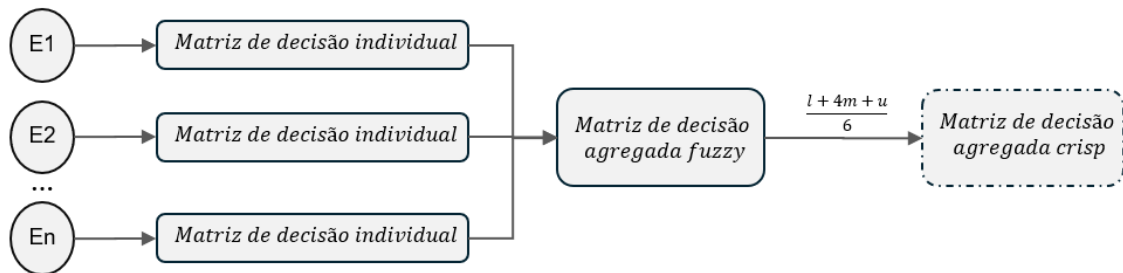


Figura 4.6 - Arquitetura Fase 3 - Matriz de decisão agregada e desfuzificada

A desfuzificação assume particular importância nesta fase, uma vez que, para priorizar os modos de falha, é utilizado um método de apoio à decisão multicritério (CoCoSo), o qual trabalha com números *crisp*.

O CoCoSo é utilizado neste contexto por se tratar de um modelo de decisão multicritério de fácil aplicabilidade que, além disso, combina estratégias aditivas e multiplicativas, resultando num processo de decisão mais robusto e equilibrado, ideal para a priorização dos modos de falha identificados.

A aplicação do CoCoSo pressupõe o seguimento dos passos especificados na revisão da literatura (subcapítulo 2.5.5.2), considerando que S e O são tratados como critérios de benefício (quanto maior, melhor) e a Detetabilidade como critério de custo (quanto menor, melhor). Assim, conforme apresentado na Figura 4.7, os primeiros classificados no *ranking* do CoCoSo correspondem aos modos de falha mais críticos.



Figura 4.7 - Critérios de benefício e custo

Assim, de acordo com o referido, para aplicar o CoCoSo não se pode utilizar diretamente a matriz de decisão agregada (*crisp*), uma vez que o critério Detetabilidade, em relação aos outros dois critérios, utiliza uma escala invertida. Nesse sentido, deve proceder-se a um ajuste dos valores da Detetabilidade na matriz de decisão. Sendo que a Detetabilidade pode variar entre 0,417 (número *fuzzy* (0, 0, 2.5) desfuzificado) e 9,583 (número *fuzzy* (7.5, 7.5, 10) desfuzificado), então a *range* será (Equação 4.1):

$$Range_D = 9,583(3) - 0,4167 \approx 9,167 \quad (4.1)$$

Logo, o ajuste dos valores de Detetabilidade utilizados no CoCoSo é feito através expressão indicada na Equação 4.2.

$$D_{CoCoSo} = 9,167 - D \quad (4.2)$$

Como *output* desta fase, resulta o *ranking* dos diferentes modos de falha (alternativas), o que permite definir quais devem ter maior ou menor prioridade. Assim, o modo de falha prioritário será considerado *input* da fase seguinte, onde passa a representar o evento de topo do *BowTie*, servindo de ponto de partida para o desenvolvimento do diagrama.

4.2.4 Fase 4 - Análise *BowTie* Quantitativa - Estado Atual

A quarta fase consiste na aplicação da análise *BowTie* aos modos de falha considerados prioritários na fase anterior, adotando uma abordagem quantitativa de análise do risco.

Considera-se que o método Bowtie é o mais adequado nesta fase, por se tratar de um método bastante completo, uma vez que permite analisar o risco tanto na perspetiva da prevenção como da mitigação, de forma quantitativa.

Em reunião, a equipa de projeto deve, com base nos modos de falha identificados, proceder à construção do *BowTie*, no qual é necessário:

- Definir o evento de topo com base no modo de falha (*input* vindo da Fase 3);
- Definir os eventos básicos e intermédios, bem como as suas interligações através de portas lógicas AND e OR;
- Descrever as barreiras atuais, caso existam;
- Estimar as probabilidades dos eventos básicos (0-100%), com base no conhecimento da equipa, ou se existirem, em registos históricos;
- Definir as consequências/impactos, assim como as barreiras de mitigação atualmente existentes.

De seguida, procede-se à simplificação da árvore de falhas através da teoria dos blocos de fiabilidade e, posteriormente, a jusante do *top event*, a árvore de eventos permite determinar a probabilidade dos diferentes cenários de impacto, tanto ao nível do custo como do prazo, do âmbito e da qualidade.

Tanto na FTA como na ETA é utilizada a MCS, assumindo-se que as variáveis de entrada seguem uma distribuição normal, sendo realizadas 10 000 iterações, valor considerado aceitável, uma vez que garante um nível de precisão de cerca de 0,001.

A aplicação da MCS permite obter a probabilidade do evento de topo, bem como das diferentes ramificações da árvore de eventos, apresentando para cada uma o valor médio e o desvio padrão correspondentes, conforme exemplificado na Figura 4.8.

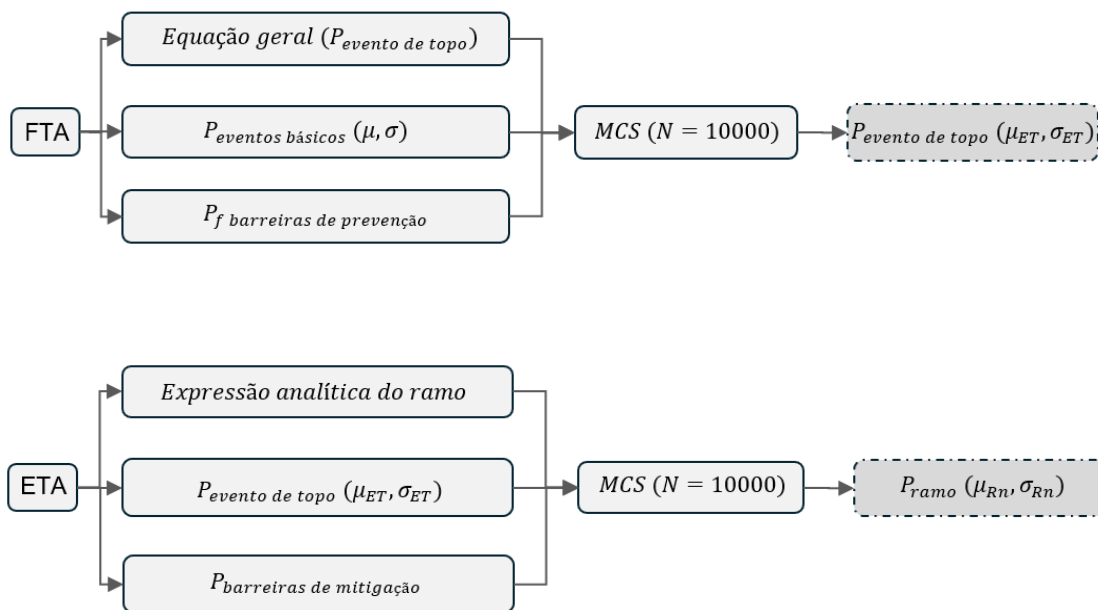


Figura 4.8 - Simulação de Monte Carlo aplicada à FTA e ETA

O impacto de cada cenário ou ramo da árvore de eventos deve ser avaliado nas quatro dimensões do triângulo de ferro da gestão de projetos, de acordo com a escala quantitativa apresentada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Escala de avaliação dos impactos nas quatro vertentes do projeto

Escala Qualitativa	Escala Quantitativa	Custo	Tempo	Qualidade	Âmbito
Muito Baixo	1	Aumento do custo < 5%	Aumento do tempo < 5%	Afetadas poucas funcionalidades acessórias	Diminuição muito reduzida
Baixo	2	Aumento do custo 5 - 10%	Aumento do tempo 5 - 15%	Afetadas muitas funcionalidades acessórias	Áreas menos importantes afetadas
Médio	3	Aumento do custo 10 - 15%	Aumento do tempo 15 - 25%	Afetadas poucas funcionalidades críticas	Áreas mais importantes afetadas
Alto	4	Aumento do custo 15 - 20%	Aumento do tempo 25 - 35%	Afetadas muitas funcionalidades críticas	Redução do âmbito inaceitável
Muito Alto	5	Aumento do custo > 20%	Aumento do tempo > 35%	Afetadas todas as funcionalidades	Produto final sem utilidade

Assim, a partir da probabilidade de ocorrência de cada ramo e do respectivo impacto nas diversas dimensões do projeto, torna-se possível determinar o nível de risco associado ao Custo, Tempo, Âmbito e Qualidade.

4.2.5 Fase 5 - Análise *BowTie* Quantitativa - Estado Futuro

Na sequência da análise do estado atual, realiza-se um segundo momento da análise *BowTie*, que consiste em desenvolver uma perspectiva do estado futuro através da proposta de novas barreiras de prevenção e mitigação.

A segunda análise *BowTie* pressupõe:

- Alocar as novas barreiras de prevenção na árvore de falhas e de mitigação na árvore de eventos;
- Estimar a probabilidade de falha ou sucesso das novas barreiras;
- Recalculo da expressão geral da árvore de falhas;
- Recalculo da probabilidade agregada do evento de topo;
- Recalculo do impacto do evento de risco no projeto;
- Analisar comparativamente o estado atual vs estado futuro.

No âmbito do modelo proposto, esta segunda análise é considerada fundamental, pois permite, no contexto do projeto:

- Definir as melhores estratégias de resposta ao risco;
- Verificar a eficácia das barreiras propostas;
- Analisar se os custos de implementação das barreiras são inferiores ou superiores aos benefícios obtidos (análise custo-benefício);
- Estimar e justificar reservas de contingência do projeto;
- Aumentar a eficiência na alocação de recursos.

A Tabela 4.4 resume os principais objetivos, assim como *inputs* e *outputs* de cada uma das fases.

Tabela 4.4 - Resumo dos principais objetivos, inputs e outputs de cada fase do modelo

Fase	Objetivo	Inputs	Outputs
Fase 1	Identificar os modos de falhas com maior impacto negativo no projeto	Julgamento de especialistas	Lista consolidada dos principais modos de falha identificados
Fase 2	Calcular o peso relativo dos critérios de avaliação (S, O, D)	Julgamento de especialistas	Pesos relativos dos critérios de avaliação do risco
Fase 3	Priorizar os modos de falha de forma qualitativa	- Lista de modos de falha (<i>output</i> da Fase 1) - Julgamento de especialistas - Peso relativo dos critérios de avaliação (<i>output</i> da Fase 2)	<i>Ranking</i> dos modos de falha por criticidade
Fase 4	Estimar quantitativamente o nível de risco atual	- Modos de falha prioritários (<i>output</i> da Fase 3) - Julgamento de especialistas (foco no desenvolvimento do diagrama <i>BowTie</i>)	Nível de Risco Atual
Fase 5	Estimar quantitativamente o nível de risco futuro após integração de barreiras de controlo	- Modos de falha prioritários (<i>output</i> da Fase 3) - Julgamento de especialistas (proposta de barreiras de controlo)	Nível de Risco Futuro e comparação com o Estado Atual

4.3 Alguns Contributos e Limitações do Modelo

O modelo preconizado apresenta inúmeras vantagens para a gestão de projetos. Trata-se de uma abordagem estruturada que compreende três fases essenciais do processo de gestão do risco no projeto: identificação, avaliação e tratamento do risco. O modelo permite uma análise qualitativa dos riscos do projeto com base em três critérios, possibilitando a sua priorização de forma robusta através da aplicação de modelos de decisão multicritério. Esta abordagem reconhece que o peso relativo dos critérios pode variar entre diferentes projetos e contextos industriais.

Por outro lado, o modelo incorpora técnicas quantitativas para calcular o nível de risco atual e estimar novos níveis de risco através da estimativa de resposta, contribuindo assim para uma tomada de decisão mais informada e eficaz em contextos de incerteza.

Trata-se, portanto, de um modelo flexível e adaptável a diferentes tipos de projetos, que oferece um contributo efetivo ao desempenho das equipas de projeto.

Contudo, tal como qualquer modelo, este também apresenta algumas fragilidades, nomeadamente a dependência dos julgamentos de especialistas, a subjetividade associada aos julgamentos *fuzzy*, e o facto de a sua aplicação estar limitada a um único estudo de caso, o apresentado nesta dissertação.

5 Aplicação do Modelo e Análise de Resultados

O presente capítulo tem como propósito demonstrar a aplicação prática do modelo de apoio à tomada de decisão desenvolvido no âmbito da dissertação. Pretende-se, assim, validar a sua operacionalização e avaliar os resultados obtidos com base no estudo de caso apresentado.

Para tal, procedeu-se à recolha de dados fundamentais ao longo das diferentes fases do processo, recorrendo, sempre que possível, a questionários anónimos elaborados na plataforma *Google Forms*.

Foram desenvolvidos três questionários, dirigidos a seis gestores de projeto da empresa, previamente selecionados pela sua experiência prática e conhecimento de projetos realizados em África, sendo o envio efetuado por email, através do *link* gerado pelo *Google Forms*. Trata-se de questionários de cariz qualitativo, baseados em juízos especializados.

A Tabela 5.1 apresenta alguns dos objetivos específicos dos questionários desenvolvidos assim como as formas de consolidação dos dados adotadas.

Tabela 5.1 - Questionários realizados e os seus objetivos específicos

Quest.	Objetivos Específicos	Tipo de Questão	Consolidação de dados
Q1	Verificar o envolvimento recente dos especialistas em projetos em África	Seleção opcional	Contagem da frequência por opção
	Identificar um número considerável de situações de risco nos projetos em África	Resposta aberta (de forma a abranger vários tipos de contributos)	Organização em lista e eliminação de contributos repetidos
Q2	Selecionar apenas as dez situações de risco com maior impacto negativo	Seleção múltipla (com limite)	Contabilização da frequência de respostas e análise através de gráficos de barras
Q3	Comparar par a par os critérios de avaliação quanto à importância	Seleção opcional (escala de -9 a 9)	Conversação dos valores da escala (-9 a 9) para números <i>fuzzy</i>
	Avaliação dos modos de falha, com base na Severidade, Ocorrência e Detetabilidade	Seleção opcional	Conversação dos julgamentos para números <i>fuzzy</i>

Dado que o critério de seleção destes especialistas foi o facto de estarem envolvidos em projetos nos últimos dois anos, garantindo a atualidade do seu contributo, no Questionário 1, que pode ser consultado no Anexo 8, a primeira questão colocada foi:

Questão 1: “Qual foi a última vez que esteve envolvido(a) em projetos realizados em África?”

Como se observa na Tabela 5.2, quatro especialistas estão atualmente envolvidos em projetos. Um esteve envolvido há menos de um ano e outro há menos de dois anos. Consideraram-se, portanto, válidos os seus contributos.

Tabela 5.2 - Último envolvimento dos especialistas em projetos em África.

Especialista	Atualmente envolvido	Menos de 1 ano	Menos de 2 anos	Mais de 2 anos
E1	✓			
E2		✓		
E3			✓	
E4	✓			
E5	✓			
E6	✓			

5.1 Identificação de situações de risco

Para identificar os principais riscos, ainda no Questionário 1, optou-se por questionar os inquiridos, através de uma resposta aberta, sobre situações que resultaram em impactos negativos nos projetos. Este formato foi escolhido para permitir respostas espontâneas, sem recurso a linguagem técnica específica da gestão do risco.

Desta questão resultaram trinta e oito respostas (Anexo 9), muitas das quais semelhantes entre si, o que levou à realização de um tratamento de dados para eliminar contribuições repetidas. As situações finais identificadas encontram-se resumidas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Situações com impactos negativos identificadas pelos especialistas após eliminação de contribuições repetidas

Situações com impactos negativos no projeto			
1	Incompatibilidade entre equipamentos ou sistemas	15	Falta de preparação de trabalho
2	Falhas de comunicação entre departamentos da empresa	16	Alterações de planeamento
3	Especificações alteradas no decorrer do projeto	17	Logística local (alojamentos e transportes)
4	Faturação mensal retida por decisão do cliente	18	Falta de materiais nos mercados locais
5	Assaltos devido a falta de segurança em obra e nos estaleiros	19	Falta de fiscalização do projeto
6	Distância excessiva entre o local de trabalho e armazéns/estaleiros	20	Instalação de quadros elétricos em que o teste de aceitação (FAT) realizado na Europa foi mal executado
7	Desentendimentos quanto à forma de trabalhar entre empresa e cliente	21	Falta de profissionalismo no geral
8	Erros técnicos da empresa de metalomecânica	22	Incorreta interpretação do <i>scope</i> de trabalho
9	Escassez de mão de obra qualificada	23	Sobrecarga de documentação para realizar o controlo de qualidade
10	Burocracia pesada, licenças demoradas e corrupção	24	Alocação de recursos ineficiente para as necessidades do projeto
11	Logística e alfândega pouco eficientes	25	Danificação de equipamentos na instalação
12	Restrições cambiais e volatilidade macroeconómica	26	Materiais insuficientes para terminar as atividades
13	Infraestrutura energética e de suporte ainda limitada	27	Comunicação entre empresa e cliente ineficiente
14	Aprovisionamento de materiais e equipamentos	28	Ocorrência de eventos climáticos desfavoráveis

Após o tratamento dos dados, o passo seguinte passou por partilhar com os especialistas as repostas de forma a chegar a um consenso alargado entre as situações mais importantes (à semelhança da Técnica Delphi, já que não foi possível, fisicamente criar o painel Delphi). O objetivo passou por selecionar no máximo dez situações mais impactantes.

Nesse sentido, através do Questionário 2 (Anexo 10), foi solicitado aos especialistas que, entre as 28 situações identificadas, escolhessem as dez mais críticas em termos de impacto negativo nos projetos.

Os resultados são apresentados na Figura 5.1, que ilustra a frequência de seleção de cada uma das opções. Como se pode observar, nove situações destacaram-se das restantes, tendo sido escolhidas por, pelo menos, metade dos especialistas.

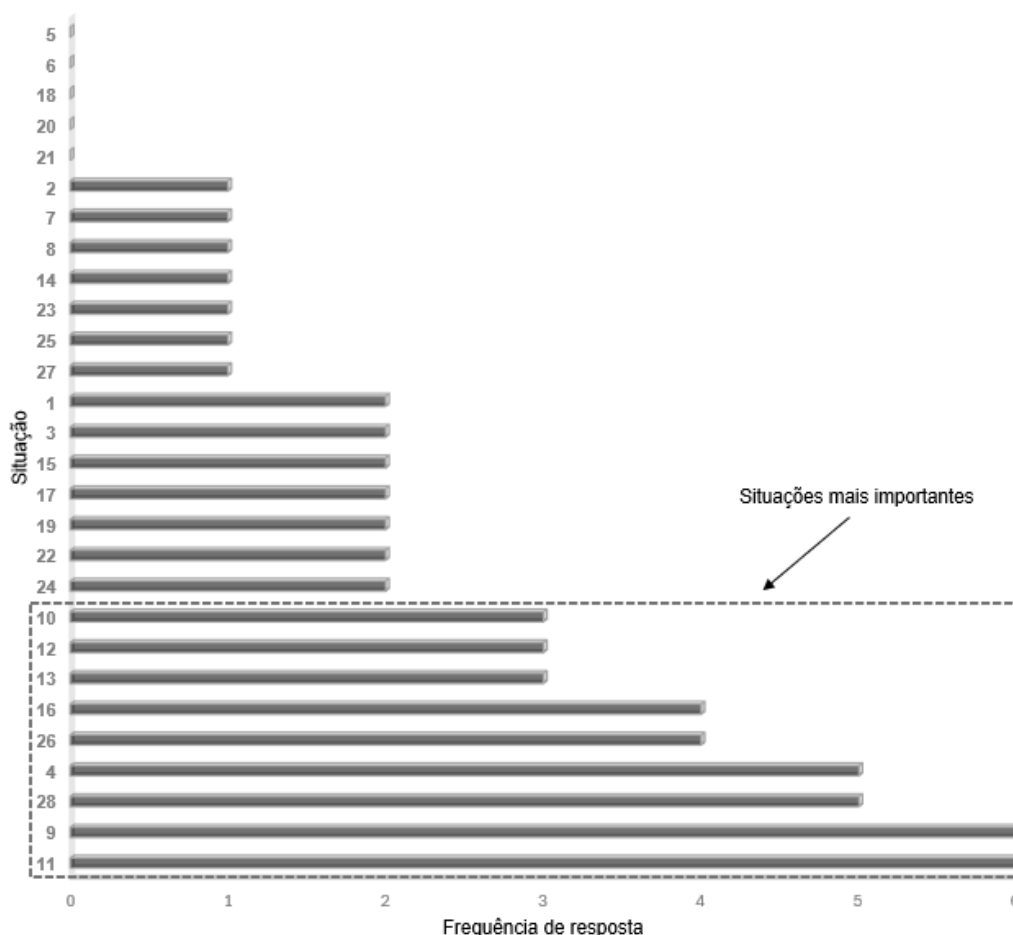


Figura 5.1 - Frequência de respostas sobre as situações com maior impacto negativo.

Assim sendo, as situações que mereceram especial atenção e uma análise mais detalhada foram as situações **4, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 26 e 28**. A Tabela 5.4 ilustra cada uma dessas situações e descreve a forma como a falha ocorre em cada caso, sendo que, em alguns, a própria situação já corresponde ao modo de falha.

Tabela 5.4 - Nove principais situações e respetivo modo de falha.

Situações com impactos negativos		Modo como ocorre a falha
Faturação mensal retida por decisão do cliente	MF_4	Faturação mensal retida por decisão do cliente
Escassez de mão de obra qualificada	MF_9	Mão de obra qualificada insuficiente
Burocracia pesada, licenças demoradas e corrupção	MF_{10}	Atrasos em processos administrativos complexos
Logística e alfândega pouco eficientes	MF_{11}	Retenção de materiais e equipamentos em alfândega
Restrições cambiais e volatilidade macroeconómica	MF_{12}	Conversão de moeda com desvalorização
Infraestrutura energética e de suporte ainda limitada	MF_{13}	Interrupções de energia e falhas em serviços essenciais
Alterações de planeamento	MF_{16}	Alterações ao planeamento interno
Materiais insuficientes para terminar as atividades	MF_{26}	Falta de materiais para término de atividades
Ocorrência de eventos climáticos desfavoráveis	MF_{28}	Interrupção dos trabalhos devido à ocorrência de eventos climáticos

5.2 Cálculo do Peso Relativo dos Critérios

Para o cálculo do peso relativo dos critérios, procedeu-se, numa primeira fase, à recolha de informação relativa à comparação par a par dos critérios S, O e D, através do Questionário 3 (Anexo 11). Obtiveram-se seis matrizes individuais de comparação par a par, definidas em função de variáveis linguísticas e posteriormente quantificadas com números *fuzzy*, podendo ser consultadas no Anexo 12.

Posteriormente, procedeu-se à agregação dos julgamentos, da qual resultou a matriz de comparação par a par apresentada na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Comparação par a par (*fuzzy*) agregada.

Comparação par a par dos critérios agregada									
	S			O			D		
S	(1.00,	1.00,	1.00)	(1.17,	2.17,	3.17)	(1.33,	2.33,	3.33)
O	(0.32,	0.46,	0,86)	(1.00,	1.00,	1,00)	(0.92,	1.63,	2,39)
D	(0.30,	0.43,	0,75)	(0.42,	0.62,	1,08)	(1.00,	1.00,	1,00)

Posteriormente, com base na matriz de comparação par a par agregada, aplicaram-se os restantes passos do algoritmo *Fuzzy AHP*, ilustrados nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8, terminando com a obtenção dos pesos normalizados, apresentados na Tabela 5.9, onde se observa que a Severidade é o critério com maior peso (52,8%), seguida da Ocorrência (31,3%) e da Detetabilidade (15,9%) verificando a ordem $S > O > D$.

Tabela 5.6 - Cálculos intermédios para obtenção da medida sintética

Cálculos intermédios para obtenção da medida sintética			
	(l,	m,	u)
	(3.50,	5.50,	7.50)
Adição das componentes l, m, u em linha	(2.24,	3.09,	4.25)
	(1.72,	2.04,	2.83)
Adição das componentes em coluna	(7.46,	10.63,	14.58)
Inversão do vetor resultante do passo anterior	(0.07,	0.09,	0.13)

Tabela 5.7 - Cálculo da medida sintética

Cálculo da medida sintética (S_i)			
$S_1(S)$	=	(3.50, 5.50, 7.50) \otimes (0.07, 0.09, 0.13)	= (0.240, 0.517, 1.006)
$S_2(O)$	=	(2.24, 3.09, 4.25) \otimes (0.07, 0.09, 0.13)	= (0.153, 0.290, 0.569)
$S_3(D)$	=	(1.72, 2.04, 2.83) \otimes (0.07, 0.09, 0.13)	= (0.118, 0.192, 0.380)

Tabela 5.8 - Comparação dos graus de possibilidade

Comparação entre todos os graus de possibilidade								
S	$V(S_1 > S_2)$	1,00	O	$V(S_2 \geq S_1)$	0,59	D	$V(S_3 \geq S_1)$	0,30
	$V(S_1 > S_3)$	1,00		$V(S_2 \geq S_3)$	1,00		$V(S_3 \geq S_2)$	0,70
	$\min V(S_1 \geq S_k)$	1,00		$\min V(S_2 \geq S_k)$	0,592		$\min V(S_3 \geq S_k)$	0,30

Tabela 5.9 - Pesos normalizados

Pesos normalizados (W)	
S	0,5282
O	0,3127
D	0,1591

Por fim, de forma a verificar a consistência dos julgamentos, procedeu-se à desfuzificação da matriz de decisão agregada como se observa na Tabela 5.10. Foram também calculados os C_v , $\lambda_{máx}$, CI e, por fim o CR , para o $RI=0,52$ ($n = 3$ critérios). Como se verifica na Tabela 5.11, dado que o $CR < 0,10$, os julgamentos dos especialistas foram considerados consistentes e, conseqüentemente, os pesos obtidos foram aceites.

Tabela 5.10 - Matriz de comparação par-a-par desfuzificada.

Comparação par a par dos critérios agregada (Crisp)			
	S	O	D
S	1,00	2,17	2,33
O	0,46	1,00	1,64
D	0,43	0,61	1,00

Tabela 5.11 - Verificação da consistência através do CR

λ	CI	RI	CR
3,0740808	0,0370404	0,52	0,0712315

5.3 Priorização de modos de falha

Para realizar a priorização dos nove principais modos de falha identificados na Fase 1, ainda no Questionário 3, foi solicitado aos especialistas que atribuísem uma classificação em termos de severidade/impacto, probabilidade de ocorrência e detetabilidade, com base em variáveis linguísticas. Os resultados das classificações individuais, expressos em termos linguísticos (Anexo 13), foram mapeados para os respetivos números *fuzzy* (Anexo 14).

De seguida, agregaram-se as classificações *fuzzy* e procedeu-se à respetiva desfuzificação, conforme ilustrado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores das classificações após agregação e desfuzificação

Modos de Falha	Severidade	Ocorrência	Detetabilidade
MF4	7,43	3,40	7,08
MF9	8,54	8,89	5,00
MF10	5,83	6,60	6,74
MF11	7,78	8,89	6,67
MF12	8,54	5,00	6,25
MF13	6,32	8,89	7,78
MF16	4,65	7,36	2,29
MF26	7,01	8,19	7,01
MF28	8,19	7,78	5,83

De seguida, para definir a matriz de decisão, procedeu-se ao ajuste dos valores de Detetabilidade (inversão de escala explicada no Capítulo 4). Deste processo resultou a matriz de decisão apresentada na Tabela 5.13

Tabela 5.13 - Matriz de decisão

Modo de Falha	Severidade (benefício)	Ocorrência (benefício)	Detetabilidade (custo)
MF4	7,43	3,40	2,08
MF9	8,54	8,89	4,17
MF10	5,83	6,60	2,43
MF11	7,78	8,89	2,50
MF12	8,54	5,00	2,92
MF13	6,32	8,89	1,39
MF16	4,65	7,36	6,87
MF26	7,01	8,19	2,15
MF28	8,19	7,78	3,33

Posteriormente, normalizou-se a matriz de decisão, como se observa na Tabela 5.14, tendo em conta os critérios de benefício e de custo.

Tabela 5.14 - Matriz de decisão normalizada

Modo de Falha	S	O	D
MF4	0,71	0,00	0,87
MF9	1,00	1,00	0,49
MF10	0,30	0,58	0,81
MF11	0,80	1,00	0,80
MF12	1,00	0,29	0,72
MF13	0,43	1,00	1,00
MF16	0,00	0,72	0,00
MF26	0,61	0,87	0,86
MF28	0,91	0,80	0,65

Definida a matriz de decisão, foi possível calcular a soma das sequências ponderadas e das potências ponderadas, como ilustram as Tabelas 5.15 e 5.16, respectivamente.

Tabela 5.15 - Soma da sequência ponderada

Modos de Falha	S	O	D	S_i
MF4	0,38	0,00	0,14	0,52
MF9	0,53	0,31	0,08	0,92
MF10	0,16	0,18	0,13	0,47
MF11	0,42	0,31	0,13	0,86
MF12	0,53	0,09	0,11	0,73
MF13	0,23	0,31	0,16	0,70
MF16	0,00	0,23	0,00	0,23
MF26	0,32	0,27	0,14	0,73
MF28	0,48	0,25	0,10	0,83

Tabela 5.16 - Soma da sequência da potência ponderada

Modo de Falha	S	O	D	P_i
MF4	0,84	0,00	0,98	1,82
MF9	1,00	1,00	0,89	2,89
MF10	0,53	0,84	0,97	2,34
MF11	0,89	1,00	0,96	2,86
MF12	1,00	0,68	0,95	2,63
MF13	0,64	1,00	1,00	2,64
MF16	0,00	0,90	0,00	0,90
MF26	0,77	0,96	0,98	2,70
MF28	0,95	0,93	0,93	2,82

A partir dos valores da soma da sequência ponderada e da potência ponderada, foi possível calcular os valores de K_{ia} , K_{ib} , K_{ic} e, por fim, K_i , que indicou o *ranking* final dos modos de falha de acordo com a Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Obtenção do Ranking CoCoSo

Modo de Falha	K_{ia}	K_{ib}	K_{ic}	K_i	Ranking CoCoSo
MF4	0,08	4,30	0,61	0,68	8
MF9	0,14	7,28	1,00	1,34	1
MF10	0,10	4,68	0,74	0,82	7
MF11	0,13	6,99	0,98	1,28	2
MF12	0,12	6,17	0,88	1,09	5
MF13	0,12	6,02	0,88	1,07	6
MF16	0,04	2,00	0,30	0,30	9
MF26	0,12	6,23	0,90	1,12	4
MF28	0,13	6,81	0,96	1,24	3

Ordenando os modos de falha de acordo com *ranking* calculado, obtém-se a Tabela 5.18, onde se observa que o MF_9 é o mais crítico nos projetos realizados em África, seguido do MF_{11} e MF_{28} . Por outro lado, os menos críticos, entre os nove em análise, são o MF_{16} , MF_4 e MF_{10} .

Tabela 5.18 - Ranking CoCoSo ordenado

Modo de Falha	Ranking CoCoSo
MF9	1
MF11	2
MF28	3
MF26	4
MF12	5
MF13	6
MF10	7
MF4	8
MF16	9

Os resultados mostram-se alinhados com as percepções das equipas de projeto. Estas consideram a “Mão de obra qualificada insuficiente” (MF_9) como o risco mais crítico na execução de projetos em África, evidenciando a maior fragilidade que a organização enfrenta neste tipo de projetos e que compromete o seu sucesso.

Também o segundo classificado, “Retenção de materiais e equipamentos em alfândega” (MF_{11}) está de acordo com a percepção da equipa visto que impacta muito negativamente o decorrer dos projetos, gerando grandes desfasagens em relação ao cronograma inicial.

Desta forma, a “Mão de obra qualificada insuficiente” (MF_9), serve como *input* para as Fases 4 e 5 do modelo preconizado, realizadas nos subcapítulos seguintes, onde se analisa este risco segundo uma perspetiva quantitativa.

5.4 Análise *BowTie* Quantitativa – Estado Atual

Com base no **MF9 – “Mão de Obra Qualificada Insuficiente”** procedeu-se à implementação do *BowTie* num *brainstorming* final com os mesmos seis especialistas. Esta abordagem foi considerada a mais adequada visto que a pressupõe uma análise complexa sobre relações lógicas existentes entre os vários eventos básicos, o *top event* e entre este e as consequências.

Os especialistas consideraram que a insuficiência de mão de obra qualificada nos projetos em África pode dever-se a diferentes fatores. Um dos principais está relacionado com a dificuldade em convencer profissionais expatriados a ingressarem em projetos no continente africano. Grande parte destes profissionais considera a segurança dos países e as condições de alojamento pouco atrativas, perspetivando dificuldades de adaptação.

Para além disso, os salários oferecidos, frequentemente abaixo do valor de mercado, podem também dificultar o entendimento com estes profissionais quanto à sua alocação neste tipo de projetos. Acresce ainda que, em muitos países africanos, existem grandes dificuldades na obtenção de vistos de trabalho, o que faz com que, mesmo quando um profissional aceita ingressar no projeto, ocorram atrasos na sua alocação ou, por vezes, a reversão da sua decisão.

Por outro lado, a mão de obra local com competência técnica é também insuficiente, uma vez que os profissionais qualificados são rapidamente contratados por grandes empresas nacionais, como as petrolíferas. Além disso, a aquisição de competências técnicas nestes países é limitada, dado que o ensino apresenta níveis de qualidade reduzidos, tanto pela falta de bases teóricas adequadas como pela escassez de experiência prática, uma vez que grande parte dos profissionais disponíveis nunca teve

oportunidade de adquirir conhecimentos aplicados nas áreas de eletricidade e instrumentação industrial.

Para mitigar as consequências da falta de mão de obra com qualificações teóricas e práticas adequadas aos projetos, existem atualmente duas barreiras de mitigação:

- **Barreira de Mitigação Existente 1 (BME1) - Alocação de profissionais vindos de outros projetos da organização:** Quando se verifica que a mão de obra disponível no projeto não é suficientemente qualificada para executar as atividades planeadas, uma das medidas consiste na realocação interna de envolvendo profissionais que se encontram noutros projetos da empresa. Considera-se que esta barreira tem uma probabilidade de sucesso (cerca de 25%), uma vez que, internamente, é difícil que os profissionais aceitem esta alocação.
- **Barreira de Mitigação Existente 2 (BME2) – Subcontratação de mão de obra temporária:** Esta é uma barreira de recurso que visa mitigar os impactos da falta de profissionais, contudo o perfil do trabalhador contratado através de mão de obra temporária é, por norma, menos qualificado e com menor experiência prática nas áreas técnicas exigidas. Este tipo de profissional é geralmente mais indicado para apoiar tarefas de menor complexidade ou natureza auxiliar. Assim, considera-se que esta barreira apresenta uma probabilidade de sucesso de apenas cerca de 20%.

Face ao exposto, foi desenvolvido o *BowTie* apresentado na Figura 5.2, onde:

- O *top event* é “mão de obra qualificada insuficiente”;
- O perigo está associado ao triângulo de ferro da gestão de projetos, sobre o qual se pode perder o controlo caso ocorra o *top event*;
- Os impactos são avaliados nas dimensões de Custo, Tempo, Âmbito e Qualidade.

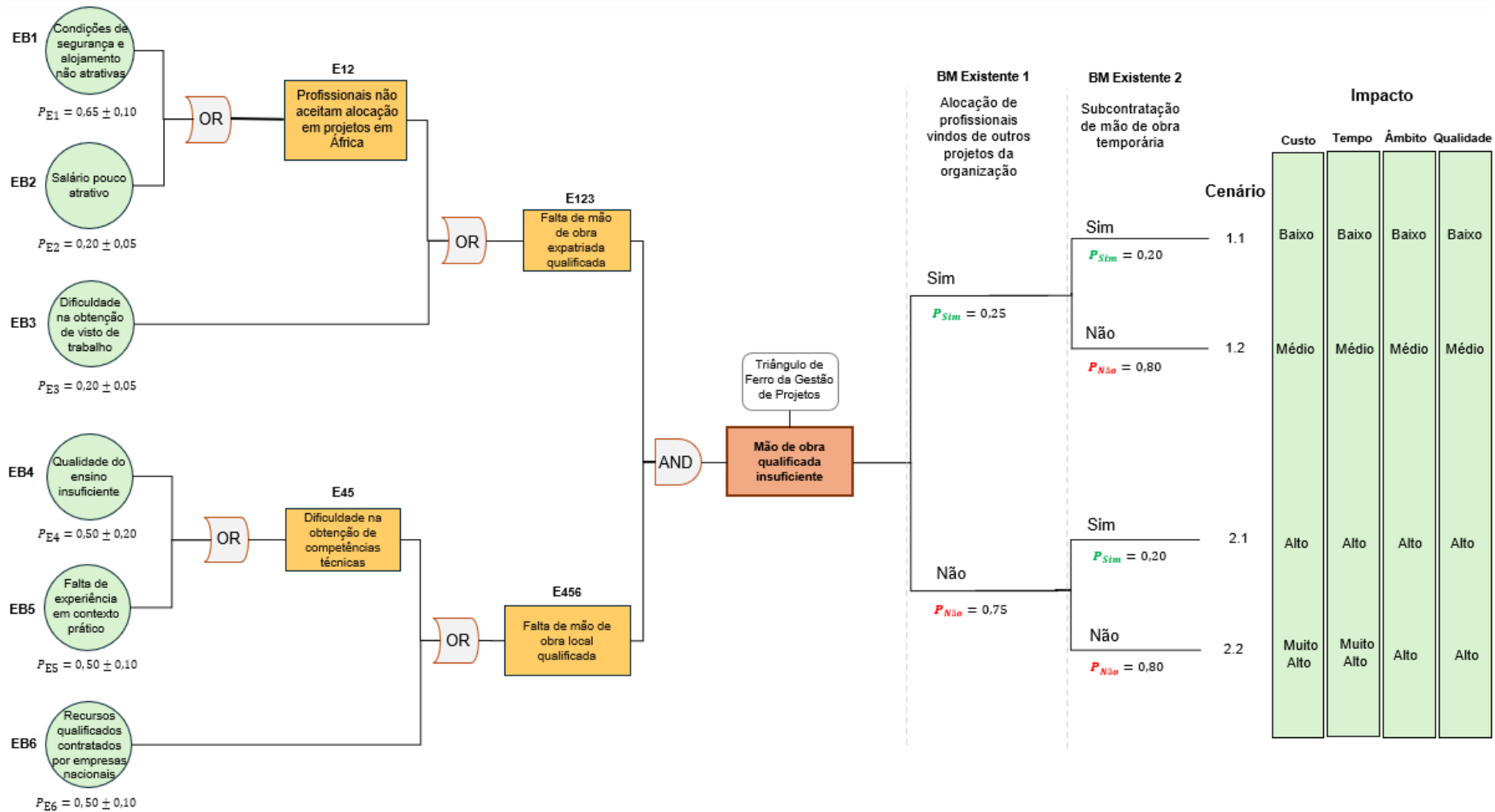


Figura 5.2 - BowTie do estado atual

Após a construção do *BowTie*, foi possível calcular a probabilidade de ocorrência do evento de topo com base em simplificações efetuadas de acordo com a teoria dos blocos de fiabilidade. Para tal, procederam-se às simplificações descritas no Anexo 15, que resultaram na expressão geral do evento de topo, apresentada na Equação 5.1.

$$P_{ET} = \left(1 - \left(1 - \left(1 - (1 - P_{fE1}) * (1 - P_{fE2}) \right) \right) * (1 - P_{fE3}) \right) * \left(1 - \left(1 - \left(1 - (1 - P_{fE4}) * (1 - P_{fE5}) \right) \right) * (1 - P_{fE6}) \right) \quad (5.1)$$

Com base na expressão geral e nas probabilidades dos eventos básicos, aplicou-se a MCS. Foram realizadas 10 000 iterações, assumindo que os eventos seguem uma distribuição normal. O valor mais provável corresponde à média (μ), o limite mínimo corresponde à média menos um desvio padrão ($\mu - \sigma$) e o máximo à média mais um desvio padrão ($\mu + \sigma$).

Desta forma, obteve-se uma probabilidade de ocorrência do evento de topo de cerca de 68,0%, com uma variabilidade de 7,7%, conforme apresentado na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Cálculo da probabilidade do Evento de Topo aplicando MCS

Eventos Básicos	Probabilidade dos Eventos Básicos		Probabilidade do Evento de Topo	
	μ	σ	μ	σ
EB_1	0,65	0,10	0,680	0,077
EB_2	0,20	0,05		
EB_3	0,20	0,05		
EB_4	0,50	0,20		
EB_5	0,50	0,10		
EB_6	0,50	0,10		

Posteriormente, a jusante do *top event*, calculou-se a probabilidade nos quatro ramos da árvore de eventos, tendo em conta as probabilidades das barreiras de mitigação existentes, como ilustrado na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 - Cálculo da probabilidade de cada ramo da árvore de eventos

Cenário	Probabilidade do cenário	μ	σ
		1.1	$P_{ET} * P_{Sim_BME\ 1} * P_{Sim_BME\ 2}$
1.2	$P_{ET} * P_{Sim_BME\ 1} * P_{N\tilde{a}o_BME\ 2}$	0,136	0,020
2.1	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME\ 1} * P_{Sim_BME\ 2}$	0,102	0,018
2.2	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME\ 1} * P_{N\tilde{a}o_BME\ 2}$	0,408	0,047

Com base na ocorrência de cada cenário, procedeu-se à agregação das probabilidades por nível de impacto. Esta agregação foi realizada de forma isolada para cada uma das quatro dimensões de impacto (Custo, Tempo, Âmbito e Qualidade).

Como se ilustra na Tabela 5.21, após a agregação observou-se que, nas dimensões Custo e Tempo, a probabilidade de o evento de risco resultar num impacto “Muito Alto” é, em média, de cerca de 40,8%, enquanto nas dimensões Âmbito e Qualidade, a probabilidade de impacto “Alto” é, em média, de 51%.

Tratando-se de probabilidades bastante elevadas, verifica-se que, atualmente, a ausência de barreiras de prevenção, bem como a reduzida eficácia das barreiras de mitigação existentes, compromete o desempenho do projeto nas quatro dimensões em análise.

Tabela 5.21 - Agregação de probabilidades por nível de impacto nas dimensões Custo, Tempo, Âmbito e Qualidade – Estado Atual

Dimensão de Impacto	Impacto		Probabilidade Estado Atual	
	Qualitativo	Quantitativo	μ	σ
Custo	Muito Baixo	1	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,016
	Médio	3	0,136	0,020
	Alto	4	0,102	0,018
	Muito Alto	5	0,408	0,047
Tempo	Muito Baixo	1	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,016
	Médio	3	0,136	0,020
	Alto	4	0,102	0,018
	Muito Alto	5	0,408	0,047
Âmbito	Muito Baixo	1	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,016
	Médio	3	0,136	0,020
	Alto	4	0,510	0,050
	Muito Alto	5	0,000	0,000

Dimensão de Impacto	Impacto		Probabilidade Estado Atual	
	Qualitativo	Quantitativo	μ	σ
Qualidade	Muito Baixo	1	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,016
	Médio	3	0,136	0,020
	Alto	4	0,510	0,050
	Muito Alto	5	0,000	0,000

5.5 Análise *BowTie* Quantitativa – Estado Futuro

Na última fase de aplicação do modelo desenvolvido, procedeu-se à atualização do *BowTie* através da alocação de três barreiras de prevenção e uma barreira de mitigação:

- **Barreira de Prevenção 1 (BP1) – Criação de alojamento para expatriados:** Propõe-se a implementação de infraestruturas de apoio, designadas por “bases de vida”, destinadas a acolher trabalhadores expatriados e a assegurar condições adequadas de segurança, conforto e lazer. Estas infraestruturas devem, idealmente, ser desenvolvidas pelo cliente, ou cooperação com o mesmo. Devem incluir alojamentos, refeitórios, enfermarias, lavandarias, ginásios e áreas de lazer. Com estas condições, espera-se aumentar a motivação e a atratividade para a participação nos projetos, garantindo simultaneamente o bem-estar, a saúde e a segurança dos colaboradores.
- **Barreira de Prevenção 2 (BP2) – Prémios de produtividade:** Propõe-se a implementação de prémios financeiros atribuídos mensalmente a diferentes colaboradores, com base no seu desempenho produtivo e no cumprimento de metas previamente definidas. O objetivo desta medida é tornar os projetos em África mais atrativos para profissionais expatriados, podendo estes prémios funcionar como complementos ao salário. Trata-se de uma iniciativa considerada importante para atrair e reter mão de obra qualificada em localizações onde a mobilização de profissionais é particularmente difícil.
- **Barreira de Prevenção 3 (BP3) – Possibilidade de progressão de carreira:** O ordenado pode, por vezes, estar abaixo do valor de mercado. Contudo, a existência de uma forte possibilidade, ou mesmo de uma garantia, de progressão na carreira leva o colaborador a aceitar a alocação a projetos em África, pois acredita ter perspectivas de crescimento, aumentos salariais futuros, valorização profissional e segurança, o que o motiva a permanecer e a investir no seu desenvolvimento dentro da organização.

- **Barreira de Prevenção 4 (BP4) – Criação parceiras com agências de Recursos Humanos:** Ter parceiros de recrutamento de recursos humanos nos países africanos aumenta o alcance da empresa para chegar aos melhores profissionais e permite fazer uma triagem de acordo com as exigências estabelecidas. Para além de melhorar não só a qualidade, como também a quantidade de candidatos com qualificações adequadas, espera-se conseguir convencer colaboradores que, muitas vezes, pelas suas competências, são contratados por petrolíferas internacionais a operar em África.
- **Barreira de Mitigação 1 (BM1) – Subcontratação de pacotes de trabalho:** Após a empresa verificar que a mão de obra existente, com qualificações técnicas adequadas, não é suficiente para realizar todas as atividades do projeto conforme planeado, deve recorrer à subcontratação dos trabalhos em que se perspectivam maiores dificuldades. Um dos exemplos é a subcontratação de trabalhos de média tensão, sendo que, em África, existem empresas cuja atividade principal (core business) é precisamente esse tipo de serviço. Desta forma, transfere-se para a empresa subcontratada a responsabilidade e o risco inerentes a esses pacotes de trabalho. Considera-se que esta barreira tem uma probabilidade de sucesso de 45%, sendo, por isso, superior à das barreiras atualmente existentes.

Assim, atualizou-se o *BowTie* desenvolvido na Fase 4 com as novas barreiras propostas, conforme ilustra a Figura 5.3.

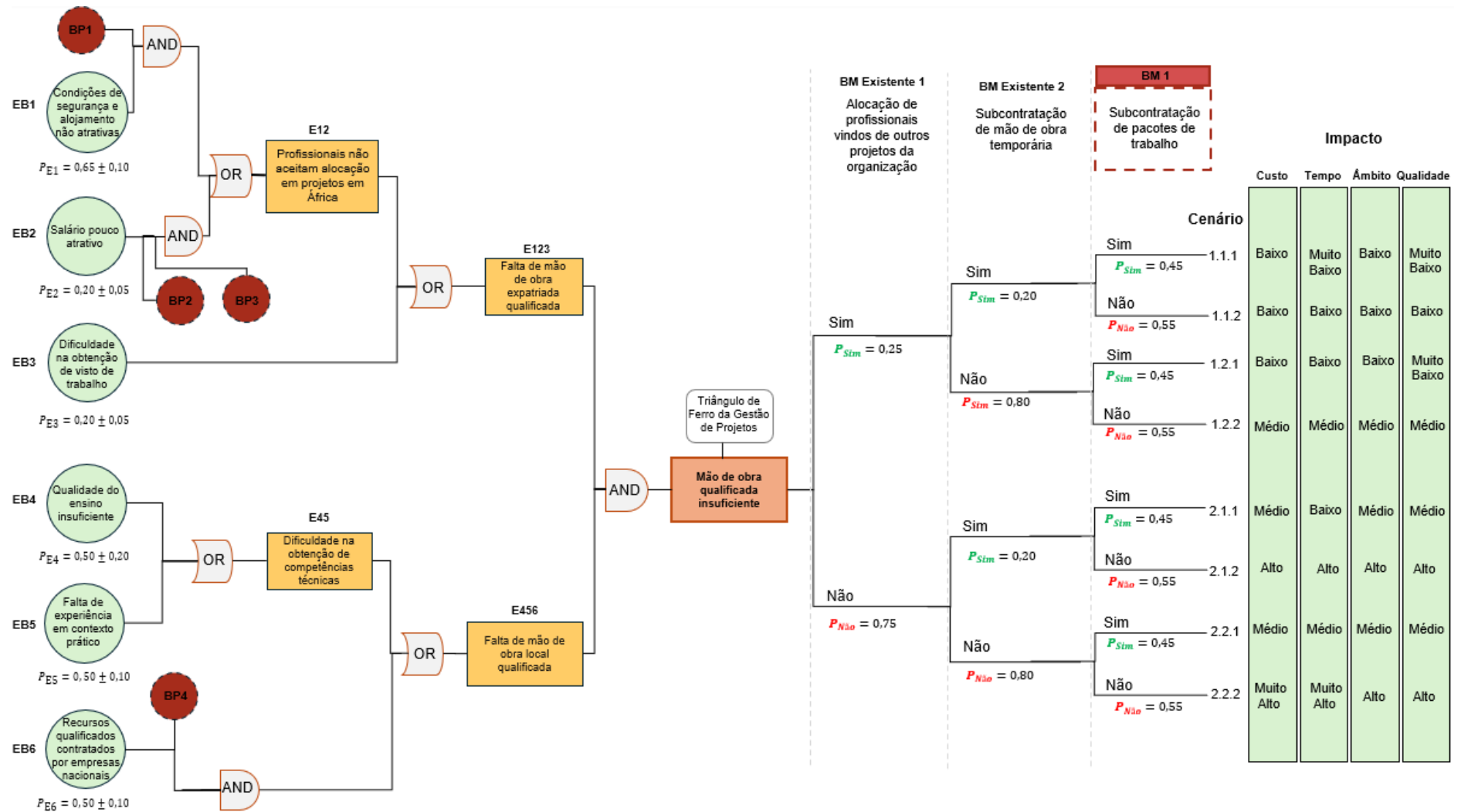


Figura 5.3 - BowTie do estado futuro

Com a atualização feita ao *BowTie*, também a expressão geral que permite calcular o evento de topo foi redefinida, como se observa na Equação 5.2.

$$P_{fET} = \left(1 - \left(1 - \left(1 - \left(1 - P_{fE1} * P_{fBP1} \right) * \left(1 - P_{fE2} * P_{fBP2} * P_{fBP3} \right) \right) \right) * \left(1 - P_{fE3} \right) \right) * \left(1 - \left(1 - \left(1 - \left(1 - P_{fE4} \right) * \left(1 - P_{fE5} \right) \right) \right) * \left(1 - P_{fE6} * P_{fBP4} \right) \right) \quad (5.2)$$

Assim, procedeu-se à atualização da probabilidade do evento de topo, que passou a ser, em média, de 35,3%, como ilustrado na Tabela 5.22, em vez dos 68% calculados antes da atualização do *BowTie*.

Tabela 5.22 - Probabilidade do Evento de Topo após a atualização do *BowTie*

Barreira Preventiva	Probabilidade de falha da barreira		Nova Probabilidade do Evento de Topo	
	μ	σ	μ	σ
BP1	0,4	0,05	0,353	0,059
BP2	0,45	0,05		
BP3	0,50	0,05		
BP4	0,45	0,05		

Também as probabilidades dos ramos foram redefinidas, como ilustrado na Tabela 5.23, sendo que, na versão atualizada, passaram a existir oito cenários/ramos, em vez de quatro.

Tabela 5.23 - Probabilidades dos cenários após a atualização do *BowTie*

Cenário	Probabilidade do Cenário		
		μ	σ
1.1.1	$P_{ET} * P_{Sim_BME1} * P_{Sim_BME2} * P_{Sim_BM1}$	0,008	0,016
1.1.2	$P_{ET} * P_{Sim_BME1} * P_{Sim_BME2} * P_{N\tilde{a}o_BM1}$	0,010	0,016
1.2.1	$P_{ET} * P_{Sim_BME1} * P_{N\tilde{a}o_BME2} * P_{Sim_BM1}$	0,032	0,016
1.2.2	$P_{ET} * P_{Sim_BME1} * P_{N\tilde{a}o_BME2} * P_{N\tilde{a}o_BM1}$	0,039	0,016
2.1.1	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME1} * P_{Sim_BME2} * P_{Sim_BM1}$	0,024	0,016
2.1.2	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME1} * P_{Sim_BME2} * P_{N\tilde{a}o_BM1}$	0,029	0,016
2.2.1	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME1} * P_{N\tilde{a}o_BME2} * P_{Sim_BM1}$	0,095	0,021
2.2.2	$P_{ET} * P_{N\tilde{a}o_BME1} * P_{N\tilde{a}o_BME2} * P_{N\tilde{a}o_BM1}$	0,116	0,024

Posteriormente, agruparam-se os cenários e as respetivas probabilidades em função dos níveis de impacto definidos no *BowTie*, nas quatro dimensões de impacto em análise, como ilustrado na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Agregação das probabilidades pelo nível de impacto

Dimensão de Impacto	Impacto		Probabilidade Estado Futuro	
	Qualitativo	Quantitativo	μ	σ
Custo	Muito Baixo	1	0	0
	Baixo	2	0,05	0,028
	Médio	3	0,158	0,031
	Alto	4	0,029	0,016
	Muito Alto	5	0,116	0,024
Tempo	Muito Baixo	1	0,008	0,016
	Baixo	2	0,066	0,028
	Médio	3	0,134	0,026
	Alto	4	0,029	0,016
	Muito Alto	5	0,116	0,024
Âmbito	Muito Baixo	1	0,000	0,000
	Baixo	2	0,050	0,028
	Médio	3	0,158	0,031
	Alto	4	0,145	0,023
	Muito Alto	5	0,000	0,000
Qualidade	Muito Baixo	1	0,040	0,226
	Baixo	2	0,010	0,016
	Médio	3	0,158	0,031
	Alto	4	0,145	0,023
	Muito Alto	5	0,000	0,000

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos antes e após a implementação das barreiras, isto é, entre o *BowTie* do estado atual e o do estado futuro, procedeu-se ao cálculo da diferença das probabilidades médias, conforme ilustrado na Tabela 5.25.

Verificou-se que as barreiras propostas exercem um efeito positivo, evidenciado por uma variação significativa na probabilidade de ocorrência na categoria de impacto “Muito Alto”. Observa-se uma redução de 7,3% na probabilidade de ocorrência de impactos classificados como “Alto” e de 29,2% nos impactos “Muito Alto”, tanto nas dimensões de Custo como de Tempo.

No que respeita ao Âmbito e à Qualidade, as diferenças manifestam-se igualmente na redução da probabilidade de impacto “Alto”, que decresce 36,5% em ambas as dimensões, passando de 51% para 14,5%.

Nas categorias de impacto menos severas, como “Muito Baixo”, “Baixo” e “Médio”, a probabilidade aumentou ligeiramente, em alguns casos, fruto de uma redistribuição

natural das probabilidades entre os diferentes ramos, o que não constitui motivo de preocupação. Verifica-se que o maior aumento ocorre na dimensão Tempo, cerca de 3,2%, situando-se a probabilidade atualizada em apenas 6,6%.

Tabela 5.25 - Variação da probabilidade após as barreiras propostas por cada nível impacto

Dimensão de Impacto	Impacto		Probabilidade Estado Atual	Probabilidade Estado Futuro	Variação
	Qualitativo	Quantitativo	μ_{EA}	μ_{EF}	$\mu_{EF} - \mu_{EA}$
Custo	Muito Baixo	1	0,000	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,050	+0,016
	Médio	3	0,136	0,158	+0,022
	Alto	4	0,102	0,029	-0,073
	Muito Alto	5	0,408	0,116	-0,292
Tempo	Muito Baixo	1	0,000	0,008	+0,008
	Baixo	2	0,034	0,066	+0,032
	Médio	3	0,136	0,134	-0,002
	Alto	4	0,102	0,029	-0,073
	Muito Alto	5	0,408	0,116	-0,292
Âmbito	Muito Baixo	1	0,000	0,000	0,000
	Baixo	2	0,034	0,050	+0,016
	Médio	3	0,136	0,158	+0,022
	Alto	4	0,510	0,145	-0,365
	Muito Alto	5	0,000	0,000	0,000
Qualidade	Muito Baixo	1	0,000	0,040	+0,040
	Baixo	2	0,034	0,010	-0,024
	Médio	3	0,136	0,158	+0,022
	Alto	4	0,510	0,145	-0,365
	Muito Alto	5	0,000	0,000	0,000

Estas variações podem ser ilustradas graficamente, nas Figuras 5.4 a 5.7, onde se observa a diferença entre o estado atual (barras a laranja) e a perspetiva de estado futuro (barras a verde), sobretudo nos impactos mais severos.

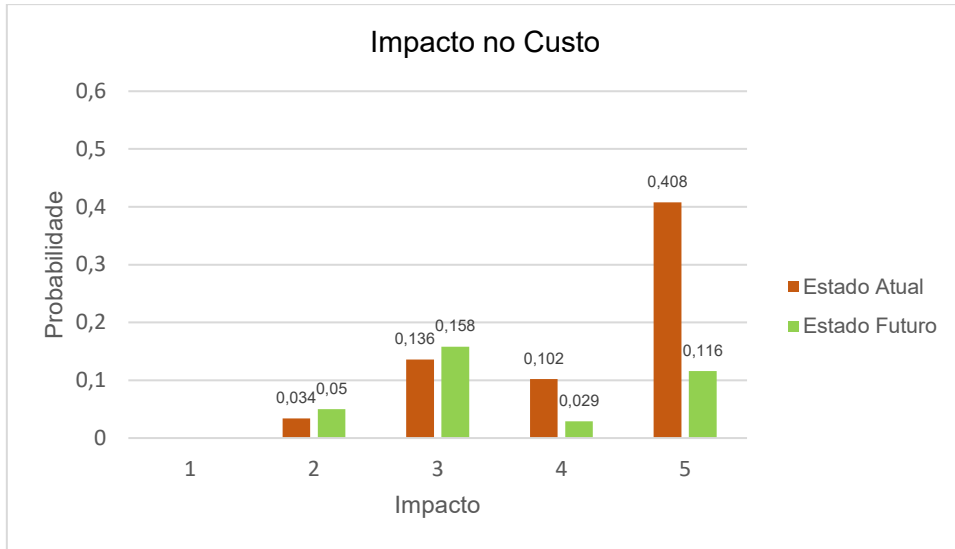


Figura 5.4 - Variação da probabilidade no Custo

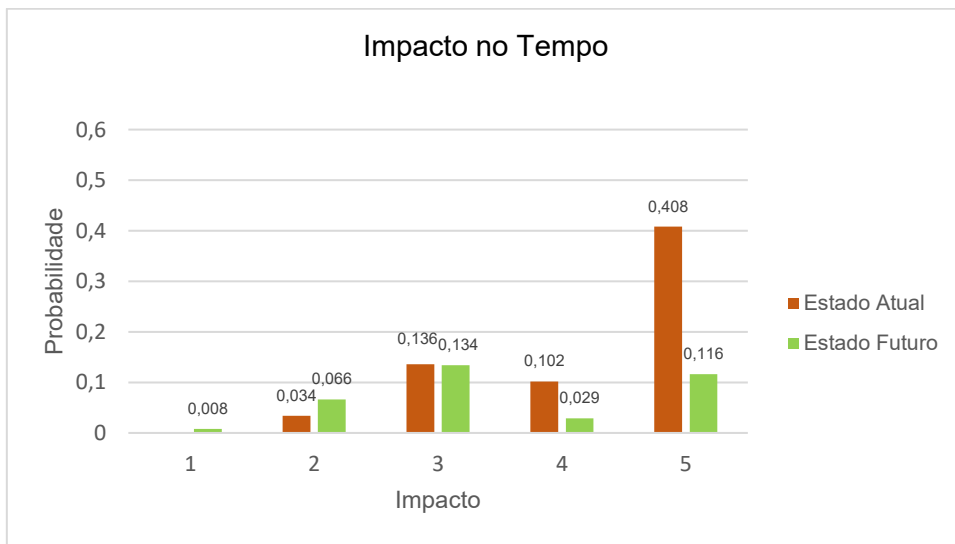


Figura 5.5 - Variação da probabilidade no Tempo

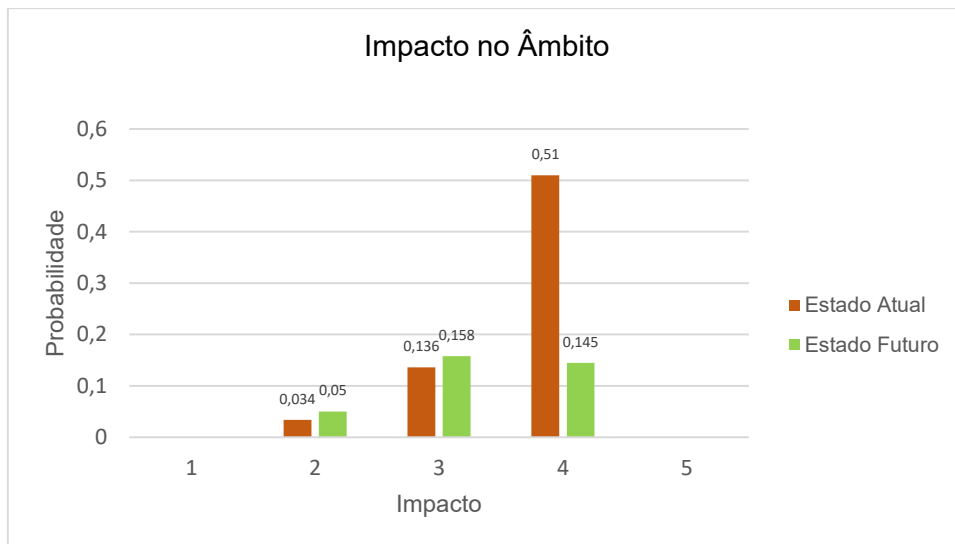


Figura 5.6 - Variação da probabilidade no Âmbito

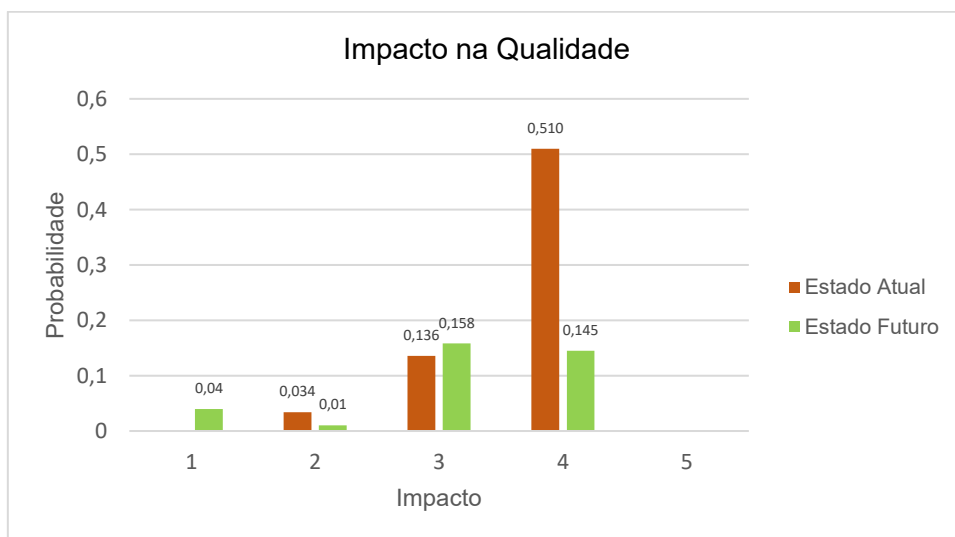


Figura 5.7 - Variação da probabilidade na Qualidade

Por fim, e de forma a calcular o nível de risco, em ambas as análises *BowTie* foi efetuada, para cada uma das dimensões, a multiplicação da probabilidade pelo respetivo impacto. Para contemplar a variabilidade, recorreu-se novamente à Simulação de Monte Carlo, obtendo-se o nível de risco composto por um valor médio e um desvio padrão, conforme ilustrado na Tabela 5.26.

Verificou-se uma redução muito significativa do nível de risco nas quatro dimensões do projeto em análise, resultante das barreiras propostas, sendo particularmente evidente nas dimensões Tempo e Qualidade.

Tabela 5.26 - Nível Risco - Estado Atual vs. Futuro

Dimensão de Impacto	Risco (Estado Atual)	Risco (Estado Futuro)
	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$
Custo	2,925 \pm 0,258	1,271 \pm 0,174
Tempo	2,925 \pm 0,258	0,559 \pm 0,098
Âmbito	2,516 \pm 0,212	0,995 \pm 0,145
Qualidade	2,516 \pm 0,212	0,337 \pm 0,239

Apesar dos resultados apresentados serem positivos, esta análise deverá, num contexto real de projeto, continuar. À semelhança do que se verifica no FMEA com o RPN tradicional, o *ranking* CoCoSo também deve ser atualizado, uma vez que as novas barreiras podem influenciar os restantes modos de falha do projeto. Numa segunda iteração, deve, portanto, proceder-se à priorização dos restantes modos de falha. Esta abordagem configura, de certa forma, um ciclo de melhoria contínua, tendo sempre em especial atenção os recursos disponíveis para o projeto.

De forma global, os resultados obtidos com o modelo híbrido proposto mostram que é possível, através de uma abordagem integrada de gestão do risco, realizar uma análise robusta que apoia a equipa de projeto nas suas tomadas de decisão. A abordagem qualitativa permitiu priorizar os modos de falha mais críticos, enquanto a abordagem quantitativa possibilitou estimar o nível de risco atual e o risco após a implementação de futuras barreiras, onde se observou uma redução significativa dos níveis de risco nas diferentes dimensões da gestão de projetos. Contudo, é importante referir que os resultados dependem em grande medida da opinião dos especialistas, o que torna necessária uma validação empírica mais ampla.

6 Conclusões

6.1 Conclusão

Este subcapítulo sumariza as principais conclusões a retirar da presente TFM, respondendo às cinco questões de investigação expostas no capítulo introdutório, considerando-se que a presente dissertação demonstrou que :

1. A identificação de situações de risco potencial em projetos de construção de eletricidade e instrumentação deve ser realizada através de abordagens estruturadas, combinando *Brainstorming* e a Técnica Delphi. Esta abordagem permite aproveitar plenamente o conhecimento dos especialistas e realizar, ainda numa fase inicial, uma triagem sob forma de consenso do painel de especialistas que distingue os riscos mais severos.
2. É possível implementar um modelo combinado de FMEA com MCDM, nomeadamente utilizando *Fuzzy AHP* e o método CoCoSo, juntamente com conjuntos difusos, permitindo realizar uma avaliação qualitativa do risco robusta. Apesar de avaliar o risco com base nas variáveis tradicionais do FMEA, este modelo permite colmatar algumas das lacunas do FMEA convencional, contribuindo de forma efetiva para que a equipa de projeto possa priorizar as situações de risco de forma estruturada.
3. Através da análise BowTie é possível estimar tanto a probabilidade de ocorrência de um evento de risco como as suas consequências. Este tipo de abordagem permite à equipa de projeto realizar uma análise quantitativa do risco completa, uma vez que incorpora tanto a componente preventiva, destinada a evitar a ocorrência do evento, como a componente mitigadora, focada na redução dos impactos caso o risco se concretize.
4. Ao realizar a análise *BowTie*, a equipa de projeto dispõe de uma ferramenta que lhe permite alocar barreiras de controlo e estimar um novo nível de risco, avaliando a eficácia das medidas implementadas. Assim, para além de calcular o risco atual, a análise *BowTie* possibilita simular o efeito de potenciais respostas

ao risco e decidir quais as medidas que apresentam a melhor relação custo-benefício, tendo em conta os recursos disponíveis do projeto.

5. Ao ser aplicado o modelo preconizado na gestão de projetos de eletricidade e instrumentação, a equipa de projeto fica munida de uma ferramenta que apoia decisivamente a tomada de decisão em contextos de incerteza, com base na gestão do risco. Assim, através de decisões mais informadas, em que o risco é devidamente considerado, é possível gerar benefícios significativos no controlo do orçamento, cumprimento dos prazos, gestão do *scope* de trabalho e na garantia de qualidade, assegurando que os resultados se mantêm dentro dos patamares exigidos em projetos de eletricidade e instrumentação.

6.2 Contributos da dissertação

Espera-se que a presente dissertação apresente um contributo a diferentes níveis:

- **A nível prático:** Apresenta uma ferramenta de gestão do risco para projetos, facilmente adaptável a diferentes contextos, que fornece ao gestor de projeto e à equipa uma base estruturada de apoio à tomada de decisão perante situações de risco.
- **A nível académico:** Contribui para o estudo e desenvolvimento de modelos híbridos de gestão do risco, nomeadamente na priorização de modos de falha, através da combinação de FMEA com os métodos de decisão multicritério como o *Fuzzy AHP* e o método *CoCoSo*, oferecendo uma abordagem estruturada e robusta para avaliação qualitativa do risco.
- **Carácter inovador:** Propõe um modelo integrador com técnicas qualitativas e quantitativas aplicado pela primeira vez na gestão de projetos

6.3 Limitações e Desafios

Apesar dos resultados demonstrados pelo modelo, há que salientar algumas limitações e desafios a considerar.

Em primeiro lugar, o estudo baseou-se na análise de um único caso de aplicação, o que pode restringir a generalização dos resultados para outros projetos. Além disso, a dependência significativa da opinião de especialistas implica que os resultados podem refletir perceções subjetivas, tornando necessária uma validação empírica mais abrangente em distintos contextos.

A nível prático, a adoção do modelo na indústria pode enfrentar desafios, especialmente em projetos conduzidos por organizações resistentes à mudança e à melhoria contínua ou em contextos onde não existam profissionais com os conhecimentos necessários em gestão de risco e análise de decisão multicritério.

Por outro lado, durante o desenvolvimento do trabalho, surgiram desafios relacionados com o tempo, especialmente na realização dos *brainstormings* com os gestores de projeto, devido à sua disponibilidade limitada e à dificuldade de conciliar as agendas de todos.

6.4 Perspetivas de trabalho futuro

Dado que a conceção de um modelo ideal é um processo em constante desenvolvimento e melhoria, o modelo proposto pode ser considerado um ponto de partida para desenvolvimentos académicos futuros. Nesse sentido, devem ser consideradas algumas atividades não efetivadas na presente dissertação, nomeadamente:

- **Diversificação da aplicação do modelo a diferentes contextos:** Apesar da aplicação do modelo ao estudo de caso, poderá ser útil validá-lo em contextos distintos, aplicando-o a diferentes projetos de modo a aferir a sua robustez e aplicabilidade. Diferentes projetos pressupõem a existência de diferentes *inputs*, como a quantidade de modos de falha, os pesos relativos dos critérios de decisão ou o número de especialistas envolvidos. Também seria interessante a sua aplicação numa fase prematura do projeto, nomeadamente na conceção da engenharia, onde os modos de falha estão maioritariamente relacionados com questões técnicas.
- **Otimização do modelo:** Mantendo a sua base original, o modelo proposto pode ser alvo de melhorias futuras, nomeadamente na quantidade de variáveis linguísticas utilizadas para avaliar os modos de falha. Em situações muito complexas, as cinco variáveis definidas para cada critério podem ser insuficientes, afetando o resultado da priorização dos modos de falha.
- **Industrialização da ferramenta:** Tanto o desenvolvimento como a aplicação da ferramenta ao estudo de caso foram realizados através do Microsoft Excel. Contudo, a sua utilização pode apresentar alguma dificuldade para o gestor de projeto e equipa, visto que exige conhecimento científico sobre as técnicas utilizadas e a sua integração no modelo. Nesse sentido, propõe-se, no futuro, a

sua industrialização, resultando numa aplicação *user-friendly*, com *dashboards* interativos que facilitem a utilização e análise dos resultados. Idealmente, seria uma aplicação web, facilmente acessível a todos os gestores de projeto.

Referências Bibliográficas

- Abad, F., & Naeni, L. M. (2022). A hybrid framework to assess the risk of change in construction projects using fuzzy fault tree and fuzzy event tree analysis. *International Journal of Construction Management*, 22(12), 2385–2397. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1790474>
- ABB. (2019). *SpiritIT Flow-X series: High accuracy flow computers*. ABB Measurement & Analytics.
- Anes, V., & Abreu, A. (2024). A Hybrid FMEA-ROC-CoCoSo Approach for Improved Risk Assessment and Reduced Complexity in Failure Mode Prioritization. *Algorithms*, 17(12), 585. <https://doi.org/10.3390/a17120585>
- APM. (2019). *APM glossary*. Association for Project Management.
- Barrett, D. C. (2024). *Understanding Project Management: A Practical Guide* (3.^a ed.). Canadian Scholars.
- Brandimarte, P. (2014). *Handbook in Monte Carlo Simulation: Applications in Financial Engineering, Risk Management, and Economics* (1^a ed). John Wiley & Sons, Inc.
- Cardozo, F. A. C., Petter, C. O., & Albuquerque, N. R. D. (2022). Monte Carlo simulation risk analysis for underground mining projects. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 19, e2681. <https://doi.org/10.4322/2176-1523.20222681>
- Carvalho, N. P. de, & Bernardo, M. do R. (2023). *Gestão de Projetos: As Práticas no Contexto Organizacional* (2.^a ed.). Edições Sílabo, Lda.

- Castelblanco, G., Mesa, H., & Serra, L. (2023). Risk Analysis in Private Building Projects: A Pilot Study in Chile. Em E. Favari & F. Cantoni (Eds.), *Complexity and Sustainability in Megaprojects* (Vol. 342, pp. 303–315). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30879-6_22
- Chang, K.-H., Chung, H.-Y., Wang, C.-N., Lai, Y.-D., & Wu, C.-H. (2023). A New Hybrid Fermatean Fuzzy Set and Entropy Method for Risk Assessment. *Axioms*, *12*(1), 58. <https://doi.org/10.3390/axioms12010058>
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project risk management: Processes, techniques and insights* (2. ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Chiocchio, F., Kelloway, E. K., & Hobbs, B. (Eds.). (2015). *The Psychology and Management of Project Teams*. Oxford University Press.
- Choudhary, V., & Mishra, A. (2022). Analyzing the Critical Success Enablers of Industry 4.0 Using Hybrid Fuzzy AHP–CoCoSo Method. *Journal of Industrial Integration and Management*, *07*(04), 493–514. <https://doi.org/10.1142/S2424862221500184>
- Cleland, D. I. (2004). The evolution of project management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *51*(4), 396–397. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.836362>
- Das, S., Garg, A., Maiti, J., Krishna, O. B., Thakkar, J. J., & Gangwar, R. K. (2021). A comprehensive methodology for quantification of Bow-tie under type II fuzzy data. *Applied Soft Computing*, *103*, 107148. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107148>
- De Ruijter, A., & Guldenmund, F. (2016). The bowtie method: A review. *Safety Science*, *88*, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.001>
- Díaz, H., Teixeira, A. P., & Guedes Soares, C. (2022). Application of Monte Carlo and Fuzzy Analytic Hierarchy Processes for ranking floating wind farm locations. *Ocean Engineering*, *245*, 110453. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110453>

- Dionne, G. (2013). Risk Management: History, Definition, and Critique. *Risk Management and Insurance Review*, 16(2), 147–166. <https://doi.org/10.1111/rmir.12016>
- Djenadic, S., Tanasijevic, M., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Petrovic, D., & Bugaric, U. (2022). Risk Evaluation: Brief Review and Innovation Model Based on Fuzzy Logic and MCDM. *Mathematics*, 10(5), 811. <https://doi.org/10.3390/math10050811>
- Dong, T., Li, H., & Zhang, Z. (2025). The using effect of fuzzy analytic hierarchy process in project engineering risk management. *Neural Computing and Applications*, 37(12), 7935–7945. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-09046-2>
- Eaton Corporation. (2025). *B-Line series cable tray design considerations guide: For commercial & industrial applications*. Eaton Corporation.
- Emerson Electric Co. (2025). *Corrosion Monitoring on Amine Strippers | Emerson GB*. <https://www.emerson.com/en-gb/automation/measurement-instrumentation/common-applications/corrosion-monitoring-on-amine-strippers>
- European Commission. (2023). *Metodologia de gestão de projetos PM²: Guia 3.1*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2799/384473>
- Frame, J. D. (2003). *Managing Risk in Organizations: A Guide for Managers*. Jossey-Bass.
- Prefer, A. A., Mahmoud, M., Haleema, H., & Almamlook, R. (2018). Overview Success Criteria and Critical Success Factors in Project Management. *Industrial Engineering & Management*, 07(01), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000244>
- Frish, S., Talmor, I., Hadar, O., Shoshany, M., & Shapira, A. (2025). Enhancing consistency of AHP-based expert judgements: A new approach and its implementation in an interactive tool. *MethodsX*, 14, 103341. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103341>

- García, A. C., & Papić, L. (2015). *Reliability modeling and prediction* (1.^a ed.). The Research Center of Dependability and Quality Management.
- Guan, X., Servranckx, T., & Vanhoucke, M. (2024). Risk response budget allocation based on fault tree analysis and optimization. *Annals of Operations Research*, 337(2), 523–564. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-05155-8>
- Guerrero, H. H., & Bradley, J. R. (2013). Failure Modes and Effects Analysis: An Evaluation of Group versus Individual Performance. *Production and Operations Management*, 22(6), 1524–1539. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2012.01363.x>
- Hillson, D. (2023). *The Risk Management Handbook: A Practical Guide to Managing the Multiple Dimensions of Risk* (2.^a ed.). Kogan Page.
- Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, evaluating and implementing effective risk management* (4.^a ed.). Kogan Page.
- Huang, J., You, J.-X., Liu, H.-C., & Song, M.-S. (2020). Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda. *Reliability Engineering & System Safety*, 199, 106885. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106885>
- IPMA. (2015). *Individual competence baseline*. International Project Management Association.
- ISO. (2012). *ISO 21500:2012—Guidance on project management*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). *ISO 31000:2018. Risk management—Guidelines*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2020). *ISO 21502:2020—Project, programme and portfolio management—Guidance on project management*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2022). *ISO 31073:2022—Risk management—Vocabulary*. International Organization for Standardization.

- ISO/IEC. (2019). *ISO/IEC 31010:2019—Risk management—Risk assessment techniques*. International Organization for Standardization.
- Jain, D. M. (2021). An Overview of Project Management. *The Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, 27(3), 700–704. <https://doi.org/10.47750/cibg.2021.27.03.096>
- Jakkula, B., Mandela, G. R., & Ch S N, M. (2020). Reliability block diagram (RBD) and fault tree analysis (FTA) approaches for estimation of system reliability and availability – a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 682–703. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2019-0176>
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed). McGraw Hill.
- Kasap, D., & Kaymak, M. (2007). Risk Identification Step of the Project Risk Management. *PICMET '07 - 2007 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*, 2116–2120. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2007.4349543>
- Kendrick, T. (2024). *Identifying and managing project risk: Essential tools for failure-proofing your project* (4th ed.). HarperCollins Leadership.
- Kerzner, H. (2018). *Project management best practices: Achieving global excellence* (4.^a ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Kerzner, H. (2025). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (14.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Khakzad, N., Khan, F., & Amyotte, P. (2012). Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 104, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2012.04.003>
- Kumar, R., Khepar, J., Yadav, K., Kareri, E., Alotaibi, S. D., Viriyasitavat, W., Gulati, K., Kotecha, K., & Dhiman, G. (2022). A Systematic Review on Generalized Fuzzy Numbers and Its Applications: Past, Present and Future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(7), 5213–5236. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09779-8>

- Kutlu, A. C., & Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.044>
- Lamprou, A., & Vagiona, D. (2018). Success criteria and critical success factors in project success: A literature review. *RELAND: International Journal of Real Estate & Land Planning*, 1, 276–284. <https://doi.org/10.26262/RELAND.V1I0.6483>
- Liu, H.-C., Chen, X.-Q., Duan, C.-Y., & Wang, Y.-M. (2019). Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 881–897. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.055>
- Liu, H.-C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
- Lodhi, R. S., & Pateriya, R. K. (2020). Type II Fuzzy Logic Controllers for VM Management and Task Assignment in Cloud System. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(5), 4974–4986. <https://doi.org/10.35940/ijrte.E6819.018520>
- Luckmann, J. A. (2015). Positive risk management: Hidden wealth in surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115(11), 1027–1034. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n11a7>
- Lund, B. D. (2020). Review of the Delphi method in library and information science research. *Journal of Documentation*, 76(4), 929–960. <https://doi.org/10.1108/JD-09-2019-0178>
- MathWorks. (2018). *Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide*. MathWorks, Inc.

- Mazurek, J., Pérez Rico, C., Fernández García, C., Magnot, J.-P., & Magnot, T. (2021). 5-Item Likert Scale and Percentage Scale Correspondence with Implications for the Use of Models with (Fuzzy) Linguistic Variables. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 31, 3–16. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.4010>
- Mazza, A., Russo, A., Chicco, G., Di Martino, A., Colombo, C., Longo, M., Ciliento, P., De Donno, M., Mapelli, F., & Lamberti, F. (2024). Categorization of Attributes and Features for the Location of Electric Vehicle Charging Stations. *Energies*, 17(16), 3920. <https://doi.org/10.3390/en17163920>
- Meredith, J. R., & Shafer, S. M. (2020). *Project Management in Practice*. John Wiley & Sons.
- Miguel, A. (2024). *Gestão Moderna de Projetos: Melhores Técnicas e Práticas* (9.^a ed.). FCA - Editora de Informática, Lda.
- Misiurev, D., & Holcman, V. (2024). Modeling of Magnetic Films: A Scientific Perspective. *Materials*, 17(6), 1436. <https://doi.org/10.3390/ma17061436>
- Moeller, R. R. (2007). *COSO Enterprise Risk Management: Establishing Effective Governance, Risk, and Compliance Processes* (1.^a ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118269145>
- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., Antucheviciene, J., & Mojtahedi, M. (2019). Project Portfolio Selection Problems: A Review of Models, Uncertainty Approaches, Solution Techniques, and Case Studies. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*, 25(6), 1380–1412. <https://doi.org/10.3846/tede.2019.11410>
- Molamohamadi, Z., Asad Samani, M., & Karimi, M. (2024). Reviewing the historical milestones of risk management. *SN Business & Economics*, 4(12), 161. <https://doi.org/10.1007/s43546-024-00762-y>
- Naisola-Ruiter, V. (2022). The Delphi technique: A tutorial. *Research in Hospitality Management*, 12(1), 91–97. <https://doi.org/10.1080/22243534.2022.2080942>

- Pehlivan, N. Y., Paksoy, T., & Çalik, A. (2018). *Fuzzy analytic hierarchy process* (A. Emrouznejad & W. Ho, Eds.). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Peng, G., Han, L., Liu, Z., Guo, Y., Yan, J., & Jia, X. (2021). An Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Risk Evaluation Model. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.715003>
- Pereira, G. S., Novaski, O., Santos Neto, N. F. dos, & Mota, F. de A. da S. (2022). Study on the state of the art of critical success factors and project management performance. *Gestão & Produção*, 29, e4722. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e4722>
- PMI (Ed.). (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (6.^a ed.). Project Management Institute.
- PMI. (2023). *Glossary of Terms*. Project Management Institute.
- Przetacznik, S. (2022). The evolution of risk management. *Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie*, 53(1–2), 95107. <https://doi.org/10.25944/znmwse.2022.01-2.95107>
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications* (3rd ed). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>
- Saatchi, R. (2024). Fuzzy Logic Concepts, Developments and Implementation. *Information*, 15(10), Artigo 10. <https://doi.org/10.3390/info15100656>
- Saaty, T. L. (2004). Decision making—The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Sabri, M. S., Ahmad, F., & Samui, P. (2024). Machine Learning-Aided Monte Carlo Simulation and Subset Simulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2678(12), 864–886. <https://doi.org/10.1177/03611981241248166>
- Sadgrove, K. (2016). *The Complete Guide to Business Risk Management* (3.^a ed.). Routledge.

- Safari, H., Faraji, Z., & Majidian, S. (2016). Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(2), 475–486. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0880-0>
- Sankaran, S., Jacobsson, M., & Blomquist, T. (2021). The history and future of projects as a transition innovation: Towards a sustainable project management framework. *Systems Research and Behavioral Science*, 38(5), 696–714. <https://doi.org/10.1002/sres.2814>
- Schwalbe, K. (2019). *Information technology project management* (9^a edition). Cengage.
- Senova, A., Tobisova, A., & Rozenberg, R. (2023). New Approaches to Project Risk Assessment Utilizing the Monte Carlo Method. *Sustainability*, 15(2), 1006. <https://doi.org/10.3390/su15021006>
- Seymour, T., & Hussein, S. (2014). The History Of Project Management. *International Journal of Management & Information Systems (IJMIS)*, 18(4), 233. <https://doi.org/10.19030/ijmis.v18i4.8820>
- Silvius-Zuchi, D., & Silvius, G. (2024). Predictive, adaptive and hybrid project approaches. Em M. Huemann & R. Turner (Eds.), *The Handbook of Project Management* (6.^a ed., pp. 293–318). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003274179-25>
- Spanidis, P.-M., Roumpos, C., & Pavloudakis, F. (2021). A Fuzzy-AHP Methodology for Planning the Risk Management of Natural Hazards in Surface Mining Projects. *Sustainability*, 13(4), 2369. <https://doi.org/10.3390/su13042369>
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2.^a ed.). ASQ Quality Press.
- Stevens, A. (2023). *Monte-Carlo simulation: An introduction for engineers and scientists* (1.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003295235>
- Sunaryo, D., Adiyanto, Y., Violita, E., Nabila, F., & Killah, K. E. (2025). Risk Management and Its Influence on Corporate Performance: A Systematic Literature Review

- Approach. *Global Management: International Journal of Management Science and Entrepreneurship*, 2, 93–108.
- Taherdoost, H. (2021). A Review on Risk Management in Information Systems: Risk Policy, Control and Fraud Detection. *Electronics*, 10(24), 3065. <https://doi.org/10.3390/electronics10243065>
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77–87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Thin, H. X., Duc, D. V., & Bao, N. C. (2024). The Effect of CoCoSo Method on the Ranks of Alternatives: A Case Study of Copper Electrical Wire Selection. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(6), 18307–18315. <https://doi.org/10.48084/etasr.9063>
- Turner, C., Hamilton, W. I., & Ramsden, M. (2017). Bowtie diagrams: A user-friendly risk communication tool. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 231(10), 1088–1097. <https://doi.org/10.1177/0954409716675006>
- Turner, J. R. (2005). The role of pilot studies in reducing risk on projects and programmes. *International Journal of Project Management*, 23(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.01.003>
- Turner, J. R. (2009). *Handbook of Project-based Management: Leading Strategic Change in Organizations* (3.^a ed.). McGraw-Hill Companies, Inc.
- Verbano, C., & Venturini, K. (2011). Development paths of risk management: Approaches, methods and fields of application. *Journal of Risk Research*, 14(5), 519–550. <https://doi.org/10.1080/13669877.2010.541562>
- Ward, S., & Chapman, C. (2011). *How to Manage Project Opportunity and Risk: Why Uncertainty Management Can be a Much Better Approach Than Risk Management*. (1.^a ed.). John Wiley & Sons.

- Weerakoon, T. G., Turskis, Z., & Šliogerienė, J. (2025). Bibliometric mapping of MCDM methods in AEC industry: Identifying trends for sustainable development. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 33(2), 148–165. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2025.23569>
- Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 1409–1436. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06425-0>
- Xu, Y., Reniers, G., & Yang, M. (2024). A Multidisciplinary Review into the Evolution of Risk Concepts and Their Assessment Methods. *Processes*, 12(11), 2449. <https://doi.org/10.3390/pr12112449>
- Yazdani, M., Ye, C., Shaayesteh, M. T., & Zaraté, P. (2025). Decision support system for waste management: Fuzzy group AHP-CoCoSo. *International Journal of Production Management and Engineering*, 13(1), 77–92. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2025.21558>
- Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501–2519. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458>
- Yazdi, M., Mohammadpour, J., Li, H., Huang, H., Zarei, E., Pirbalouti, R. G., & Adumene, S. (2023). Fault tree analysis improvements: A bibliometric analysis and literature review. *Quality and Reliability Engineering International*, 39(5), 1639–1659. <https://doi.org/10.1002/qre.3271>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *INFORMATION AND CONTROL*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178(13), 2751–2779. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.02.012>

Zadeh, L. A. (2015). Fuzzy logic—A personal perspective. *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 4–20. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.009>

Zhang, Y., & Guan, X. (2018). Selecting Project Risk Preventive and Protective Strategies Based on Bow-Tie Analysis. *Journal of Management in Engineering*, 34(3), 04018009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000603](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000603)

Anexos

Anexo 1 – Processos da Gestão de Projetos (PMBOK Guide)

Áreas de conhecimento	Grupos de Processos				
	Iniciação	Planeamento	Execução	Controlo	Encerramento
Integração	Desenvolver o termo de abertura do projeto.	Desenvolver o plano de gestão do projeto.	Dirigir e gerir o trabalho do projeto.	Monitorizar e controlar o trabalho do projeto	Término do projeto ou de uma fase
			Gerir o conhecimento do projeto.	Controlar as alterações.	
Âmbito		Planear a Gestão do Âmbito.		Validar o âmbito.	
		Recolher requisitos.			
		Definir o Âmbito.		Controlar o âmbito.	
		Criar a estrutura de decomposição do trabalho.			
Tempo		Planear a gestão do cronograma.		Controlar o cronograma	
		Definir atividades.			
		Sequenciar atividades.			
		Estimar a duração das atividades.			
		Desenvolver o cronograma.			
Custo		Planear a Gestão dos Custos		Controlar os custos	
		Estimar os custos			
		Determinar o orçamento			
Qualidade		Planear a Gestão da Qualidade	Gerir a qualidade	Controlar a qualidade	
Recursos		Planear a Gestão do Recursos	Adquirir recursos	Controlar recursos	
		Estimar os recursos das atividades	Desenvolver a equipa		
			Gerir a equipa		

Comunicação		Planear a Gestão Comunicação	Gerir as comunicações	Monitorizar as comunicações	
Risco		Planear a Gestão dos Riscos Identificar os Riscos Realizar a análise qualitativa dos riscos Realizar a análise quantitativa dos riscos Planear respostas aos riscos	Implementar as respostas aos riscos	Monitorizar os riscos	
Aquisição/ Procurement		Planear a Gestão das Aquisições	Conduzir as aquisições	Controlar aquisições	
Stakeholders	Identificar as partes interessadas	Planear o envolvimento das partes interessadas	Gerir o envolvimento das partes interessadas	Monitorizar o envolvimento das partes interessadas	

Anexo 2 – Princípios e estrutura da gestão do risco – ISO 31000

Princípio	Descrição
Integrada	A gestão do risco, não deve ser entendida de forma isolada, sendo parte integrante de todas as atividades e processos organizacionais
Estruturada e abrangente	Deve ser seguida uma abordagem abrangente e estruturada para a gestão do risco, de forma a contribuir para resultados consistentes
Personalizada	Tanto a estrutura como o processo de gestão do risco, têm a personalização proporcionalidade adequada ao contexto, interno e externo, da organização, com vista aos seus objetivos
Inclusiva	O envolvimento das partes interessadas, de forma oportuna e adequada, permite a sua contribuição através das suas perceções, pontos de vista e conhecimentos
Dinâmica	Face ao ambiente dinâmico das organizações, os riscos podem surgir, mudar e desaparecer, consoante a mudança do contexto. A gestão do risco deve, portanto, antecipar, detetar, reconhecer e responder às mudanças e aos eventos que ocorrem de uma forma apropriada
Melhor informação disponível	Os <i>inputs</i> utilizados baseiam-se em informações históricas, atuais e expectativas futuras. Estas informações devem ser úteis, claras e estar disponíveis para os <i>stakeholders</i> relevantes
Fatores humanos e culturais	A cultura e comportamento humano influenciam todos os aspetos relacionados com a gestão do risco, em cada nível e estágio
Melhoria contínua	A gestão do risco é de melhorada e aprimorada de forma contínua, com base na experiência e aprendizagem

Componente da estrutura	Descrição
Liderança e compromisso	<p>A administração e órgãos de supervisão devem assegurar que a gestão do risco está integrada nas atividades da organização e ainda demonstrar liderança e compromisso, entre outras coisas, ao:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar todos os componentes da estrutura; • Emitir uma política defina uma abordagem, plano ou linha ação; • Assegurar que os recursos necessário são devidamente alocados; • Atribuir responsabilidades e autoridade dentro da organização.

Componente da estrutura	Descrição
Integração	De forma a integrar a gestão de riscos numa organização é necessário compreender os contextos e estruturas organizacionais (que diferem em função dos objetivos, metas ou complexidade da organização). As estruturas de gestão traduzem a direção da governança na estratégia e nos objetivos associados necessários para atingir os níveis desejados de desempenho
Conceção	Quando se projeta a estrutura da gestão do risco a organização deve: <ul style="list-style-type: none"> • Analisar e entender o contexto externo e interno; • Articular o compromisso com a gestão do risco (através da alta administração); • Atribuir de papéis organizacionais, responsabilidades e autoridade; • Estabelecer uma abordagem aprovada para comunicação e consulta; • Alocar recursos (pessoas, ferramentas, sistemas de gestão de informação entre outros).
Implementação	Para a estrutura ser implementada a organização deve desenvolver um plano adequado (com tempos e recursos), identificar os processos de tomada de decisão e modificá-los se necessário. A estrutura implementada de forma correta garante que em todas as atividades os riscos são tidos em conta
Avaliação	De forma a avaliar a eficácia da estrutura deve verificar periodicamente o seu desempenho em relação aos objetivos, planos de implementação, indicadores e comportamento esperado. Avaliar permite verificar se a estrutura ainda se encontra adequada e em linha com os objetivos da organização
Melhoria	A organização deve monitorizar e se necessário adaptar continuamente a estrutura de gestão do risco em linha com as alterações no contexto. A adequação e eficácia da estrutura e a forma como o processo de gestão do risco é integrado devem ser alvo de melhorias contínuas.

Anexo 3 - *Inputs e outputs* do processo de gestão do risco estabelecido pelo PMBOK *Guide*

Etapa	Inputs	Outputs
1. Planear a Gestão do Risco	<ul style="list-style-type: none"> - Termo de abertura do projeto - Plano de gestão do projeto - Documentos do projeto - Fatores ambientais da empresa - Ativos de processos organizacionais 	Plano de gestão do risco
2. Identificação do Risco	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de gestão do projeto - Documentos do projeto - Acordos - Documentação de aquisições - Fatores ambientais da empresa - Ativos de processos organizacionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Registo de riscos - Relatório de riscos - Atualizações dos documentos do projeto
3. Análise qualitativa 4. Análise quantitativa	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de gestão do projeto; - Documentos do projeto; - Fatores ambientais da empresa; - Ativos de processos organizacionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Atualizações dos documentos do projeto
5. Planear a resposta	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de gestão do projeto; - Documentos do projeto; - Fatores ambientais da empresa; - Ativos de processos organizacionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Pedidos de alteração; - Atualizações ao plano de gestão do projeto; - Atualizações aos documentos do projeto
6. Implementar a Resposta ao Risco	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de gestão do projeto - Documentos do projeto - Ativos de processos organizacionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Pedidos de alteração - Atualizações aos documentos do projeto
7. Monitorizar o Risco	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de gestão do projeto - Documentos do projeto - Dados de desempenho do trabalho - Relatórios de desempenho do trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> - Informações de desempenho do trabalho - Pedidos de alteração - Atualizações do plano de gestão do projeto - Atualizações dos documentos do projeto - Atualizações dos ativos de processos organizacionais

Anexo 4 – Aplicabilidade das Técnicas da Gestão do Risco

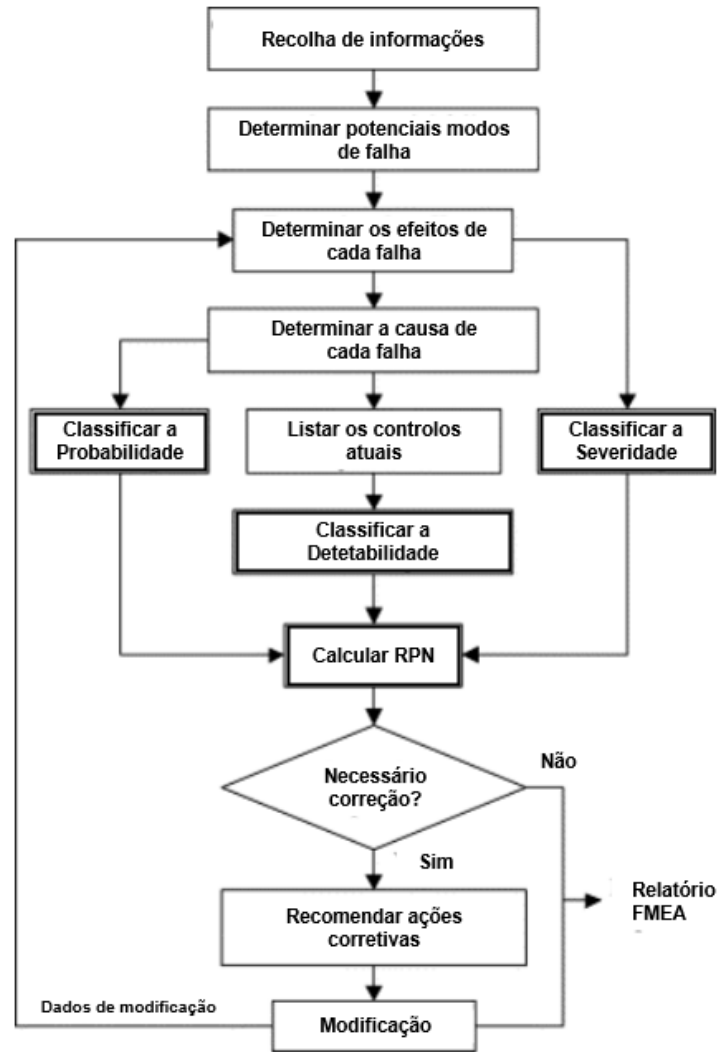
Técnicas e Ferramentas	Identificação do Risco	Análise do Risco			Avaliação do Risco
		I (R)	P (R)	Nível de Risco	
1 ALARP, ALARA e SFAIRP	x	x	x	x	✓
2 Bayesian analysis	x	x	✓	x	x
3 Bayesian networks	x	x	✓	x	✓
4 Bow tie analysis	✓	✓	✓	✓	✓
5 Brainstorming	✓	✓	x	x	x
6 Business impact analysis	✓	✓	x	x	x
7 Causal mapping	✓	✓	x	x	x
8 Cause-consequence analysis	✓	✓	✓	✓	✓
9 Checklists, classifications taxonomies	✓	x	x	x	x
10 Cindynic approach	✓	x	x	x	x
11 Consequence/likelihood matrix	x	✓	✓	✓	✓
12 Cost/benefit analysis	x	✓	x	x	✓
13 Cross impact analysis	x	✓	x	x	✓
14 Decision tree analysis	x	✓	✓	✓	✓
15 Delphi technique	✓	x	x	x	x
16 Event tree analysis (ETA)	x	✓	✓	✓	✓
17 Failure modes and effects analysis (FMEA)	✓	✓	x	x	x
18 Failure modes and effects and criticality analysis (FMECA)	✓	✓	✓	✓	✓
19 Fault tree analysis (FTA)	✓	x	✓	✓	✓
20 F-N diagrams	✓	✓	✓	✓	✓
21 Game theory	✓	✓	x	x	✓
22 Hazard and operability studies (HAZOP)	✓	✓	x	x	x
23 Hazard analysis and critical control points (HACCP)	✓	✓	✓	✓	✓
24 Human reliability analysis	✓	✓	✓	✓	✓
25 Ishikawa (fishbone)	✓	✓	x	x	x
26 Layer protection analysis (LOPA)	✓	✓	✓	✓	x
27 Markov analysis	✓	✓	✓	x	x
28 Monte Carlo simulation	x	✓	✓	✓	✓
29 Multi-criteria analysis (MCA)	✓	x	x	x	✓

Técnicas e Ferramentas	Identificação do Risco	Análise do Risco			Avaliação do Risco
		I (R)	P (R)	Nível de Risco	
30 <i>Nominal group technique</i>	✓	✓	✓	x	x
31 <i>Pareto charts</i>	x	✓	✓	✓	✓
32 <i>Privacy impact analysis/ data privacy impact assessment (PIA/DPIA)</i>	✓	✓	✓	✓	✓
33 <i>Reliability centred maintenance</i>	✓	✓	✓	✓	✓
34 <i>Risk indices</i>	x	✓	✓	✓	✓
35 <i>S-curves</i>	x	✓	✓	✓	✓
36 <i>Scenario analysis</i>	✓	✓	✓	✓	✓
37 <i>Structured or semi-structured interviews</i>	✓	x	x	x	x
38 <i>Structured "What if?" (SWIFT)</i>	✓	✓	✓	✓	✓
39 <i>Surveys</i>	✓	x	x	x	x
40 <i>Toxicological risk assessment</i>	✓	✓	✓	✓	✓
41 <i>Value at risk (VaR)</i>	x	✓	✓	✓	✓

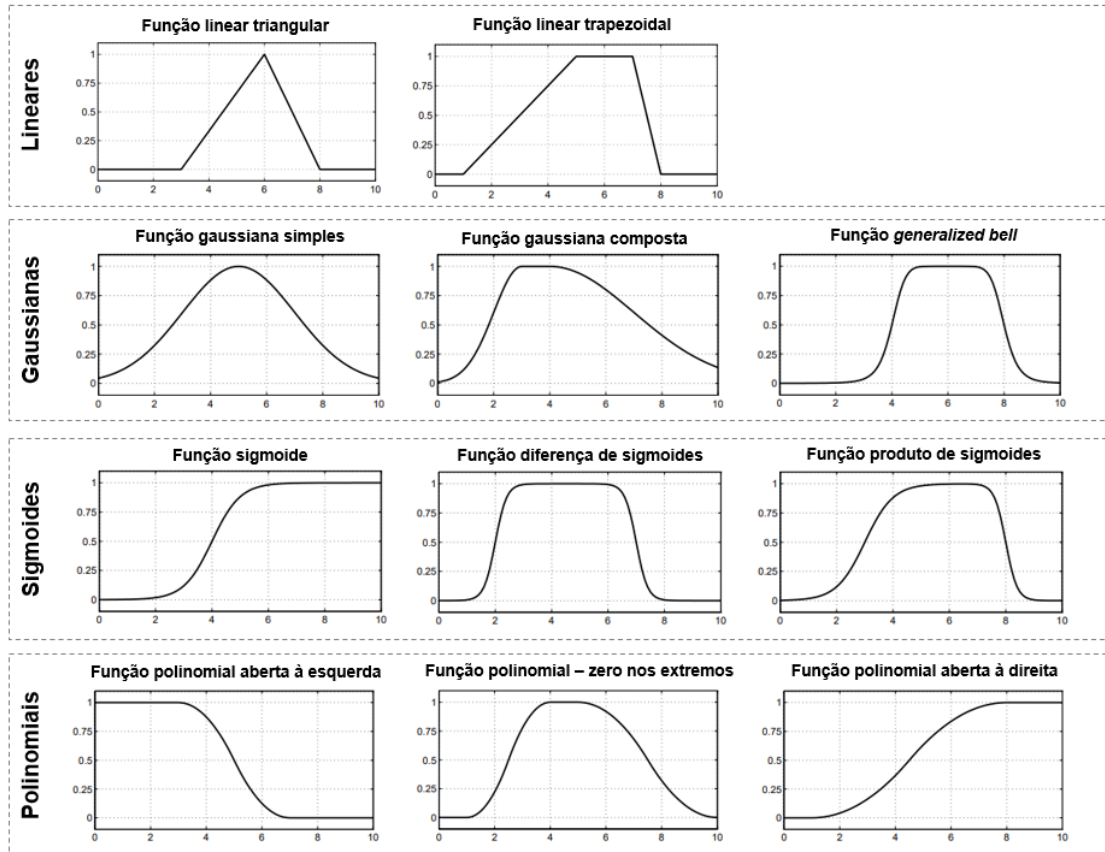
Nota: Para distinguir a aplicabilidade das várias técnicas utilizam-se diferentes símbolos com significados específicos, nomeadamente:

- ✓ - Fortemente aplicável
- ✓ - Aplicável
- x - Não aplicável

Anexo 5 – Fluxograma de uma análise FMEA

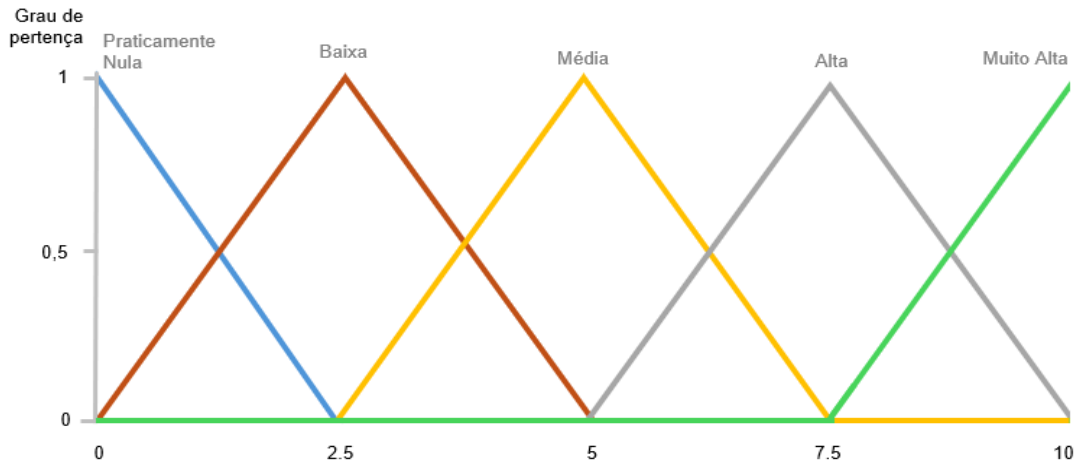


Anexo 6 – Tipos de Funções de Pertença

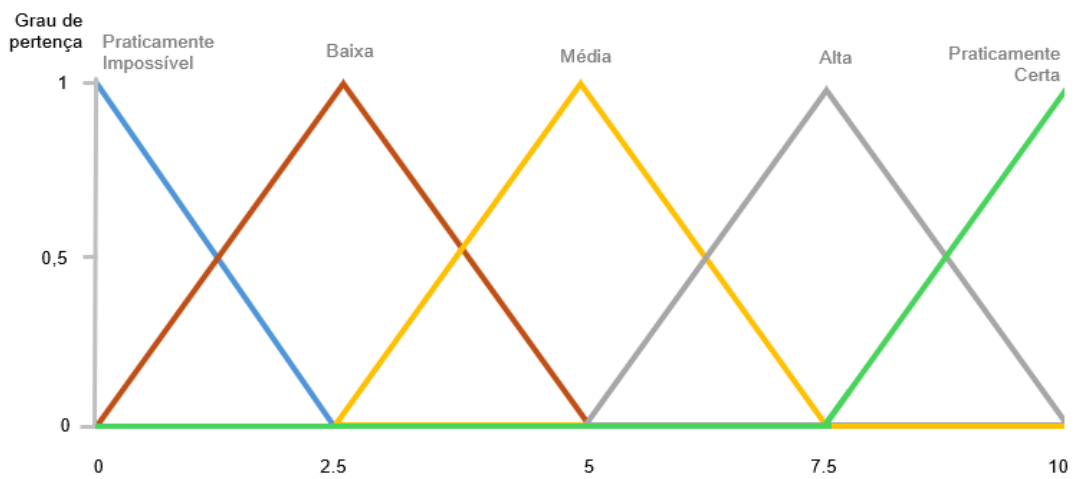


Anexo 7 – Funções de Pertença do Modelo Proposto – Avaliação dos Modos de Falha

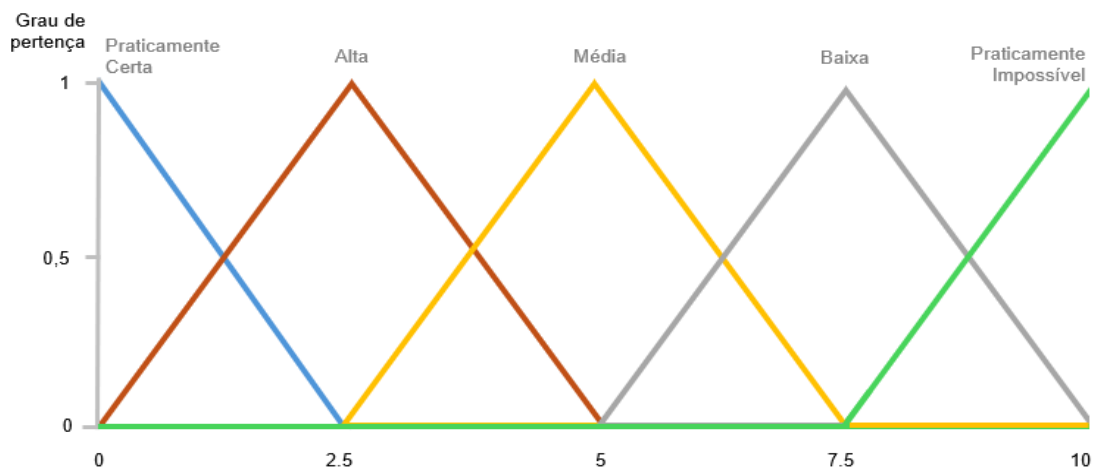
FP - Severidade



FP- Ocorrência



FP - Detetabilidade



Anexo 8 – Questionário 1 (recolha de *inputs* para aplicação do modelo)

Questionário 1 - Identificação de situações com impactos negativos nos Projetos

Caro(a) especialista em projetos de E&I,

Desde já, quero agradecer o seu contributo.

O presente questionário é anónimo e insere-se no âmbito da Dissertação de Mestrado de Rafael André Dolores Costa, aluno do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, sendo objeto da dissertação o estudo da Gestão do Risco na Gestão de Projetos.

O objetivo do questionário passa pela identificação de situações com impactos negativos, que ocorreram recentemente, em projetos realizados em África.

1. Qual foi a última vez que esteve envolvido(a) em projetos realizados em África?
 - Estou atualmente envolvido(a)
 - Há menos de 1 ano
 - Há menos de 2 anos
 - Há mais de 2 anos

2. Com base na sua experiência prática, **indique entre 5 a 8 situações** que ocorreram, recentemente, resultando em **impactos negativos** que comprometeram os objetivos do projeto.

Anexo 9 – Respostas ao Questionário 1

Esp.	Situações com impactos negativos nos projetos	
E1	1	Incompatibilidade entre equipamentos ou sistemas
	2	Falta de comunicação entre departamentos da empresa
	3	Especificações alteradas no decorrer do projeto
	4	Faturação mensal retida por decisão do cliente
	5	Assaltos devido a falta de segurança em obra e nos estaleiros
	6	Distância excessiva entre o local de trabalho e armazéns/estaleiros
	7	Desentendimentos quanto à forma de trabalhar entre empresa e cliente
	8	Erros técnicos da empresa de metalomecânica
E2	9	Escassez de mão de obra qualificada
	10	Alta rotação de mão de obra qualificada
	11	Burocracia pesada, licenças demoradas e corrupção
	12	Logística e alfandega pouco eficientes
	13	Restrições cambiais e volatilidade macroeconómica
	14	Infraestrutura energética e de suporte ainda limitada
E3	15	Aprovisionamento de materiais e equipamentos
	16	Envio de materiais e equipamentos para África com prazos apertados
	17	Problemas na alfandega para retirar os materiais
	18	Recursos humanos locais com pouca formação
E4	19	Logística de transporte de materiais
	20	Alterações da taxa de cambio
	21	Falta de preparação de trabalho
	22	Alterações de planeamento
	23	Logística local (alojamentos e transportes)
	24	Segurança
E5	25	Mão de obra pouco qualificada
	26	Falta de materiais nos mercados locais
	27	Falta de fiscalização do projeto
	28	Falhas da rede elétrica
	29	Instalação de quadros elétricos em que o teste de aceitação (FAT) realizado na Europa foi mal executado
	30	Falta de profissionalismo no geral
E6	31	Incorreta interpretação do scope de trabalho
	32	Sobrecarga de documentação para realizar o controlo de qualidade
	33	Alocação de recursos ineficiente para as necessidades do projeto
	34	Danificação de equipamentos na instalação
	35	Materiais insuficientes para terminar as atividades
	36	Comunicação entre empresa e cliente ineficiente

37	Mão de obra local sem competências técnicas
38	Ocorrência de eventos climáticos desfavoráveis

Anexo 10 – Questionário 2 (recolha de *inputs* para aplicação do modelo)

Questionário 2 - Seleção das principais situações com impactos negativos nos Projetos.

Caro(a) especialista em projetos de E&I,

Desde já, quero agradecer o seu contributo.

O presente questionário é anónimo e insere-se no âmbito da Dissertação de Mestrado de Rafael André Dolores Costa, aluno do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, sendo objeto da dissertação o estudo da Gestão do Risco na Gestão de Projetos.

O objetivo do questionário passa pela seleção das principais situações que resultam em impactos negativos para os projetos desenvolvidos em África.

1. Abaixo encontra-se uma lista consolidada com vinte e oito situações identificadas no Questionário 1. Por favor, **selecione as dez situações mais críticas**, em termos dos **impactos negativos nos projetos** realizados em África.

- Incompatibilidade entre equipamentos ou sistemas
- Falta de comunicação entre departamentos da empresa
- Especificações alteradas no decorrer do projeto
- Faturação mensal retida por decisão do cliente
- Assaltos devido a falta de segurança em obra e nos estaleiros
- Distância excessiva entre o local de trabalho e armazéns/estaleiros
- Desentendimentos quanto à forma de trabalhar entre empresa e cliente
- Erros técnicos da empresa de metalomecânica
- Escassez de mão de obra qualificada
- Burocracia pesada, licenças demoradas e corrupção
- Logística e alfândega pouco eficientes
- Restrições cambiais e volatilidade macroeconómica

- Infraestrutura energética e de suporte ainda limitada
- Aprovisionamento de materiais e equipamentos
- Falta de preparação de trabalho
- Alterações de planeamento
- Logística local (alojamentos e transportes)
- Falta de materiais nos mercados locais
- Falta de fiscalização do projeto
- Instalação de quadros elétricos em que o teste de aceitação (FAT) realizado na Europa foi mal-executado
- Falta de profissionalismo no geral
- Incorreta interpretação do *scope* de trabalho
- Sobrecarga de documentação para realizar o controlo de qualidade
- Alocação de recursos ineficiente para as necessidades do projeto
- Danificação de equipamentos na instalação
- Materiais insuficientes para terminar as atividades
- Comunicação entre empresa e cliente ineficiente
- Ocorrência de eventos climáticos desfavoráveis

Anexo 11 – Questionário 3 (recolha de *inputs* para aplicação do modelo)

Questionário 3 - Comparação par a par de critérios e avaliação de modos de falha

Caro(a) especialista em projetos de E&I,

Desde já, quero agradecer o seu contributo.

O presente questionário é anónimo e insere-se no âmbito da Dissertação de Mestrado de Rafael André Dolores Costa, aluno do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, sendo objeto da dissertação o estudo da Gestão do Risco na Gestão de Projetos.

Focado em projetos realizados em África, o questionário tem dois objetivos principais:

- Primeira fase - comparar os critérios de avaliação do risco segundo a sua importância relativa;
- Segunda fase - avaliar os principais modos de falha recentemente identificados nos projetos.

Considere que os critérios utilizados, para avaliar os riscos em projetos realizados em África são:

- **Severidade** - impacto de um evento de risco indesejado, ao nível do custo, prazo, âmbito e qualidade do projeto
- **Ocorrência** - probabilidade com que pode ocorrer o evento de risco no projeto.
- **Detetabilidade** - capacidade da equipa de projeto de detetar previamente o evento de risco.

Na primeira fase do questionário (comparação dos critérios) a escala a considerar é a seguinte:

- (1) - Importância Igual;
- (2) - Importância entre Igual e Moderada;
- (3) - Importância Moderada;
- (4) - Importância entre Moderada e Forte;
- (5) - Importância Forte;

- (6) - Importância entre Forte e Muito Forte;
- (7) - Importância Muito Forte;
- (8) - Importância entre Muito Forte e Absoluta;
- (9) - Importância Absoluta.

Nota: No caso do primeiro critério, em relação ao segundo, apresentar:

- **Importância superior**, deve atribuir **classificações positivas**.
- **Importância inferior**, deve atribuir **classificações negativas**.

1. Na sua opinião, nos projetos realizados em África, a **Severidade** em relação à **Ocorrência** tem que importância?

- 9
- 8
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

2. Na sua opinião, nos projetos realizados em África, a **Severidade** em relação à **Detetabilidade** tem que importância?

- 9

- 8
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

3. Na sua opinião, nos projetos realizados em África, a **Ocorrência** em relação à **Detetabilidade** tem que importância?

- 9
- 8
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1
- 2
- 3

- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

Secção 2/10 - Análise do Modo de Falha "**Interrupção na faturação mensal**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 3/10 - Análise do Modo de Falha "**Mão de obra qualificada insuficiente**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula

- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 4/10 - Análise do Modo de Falha “Atrasos em processos administrativos complexos”

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta

Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

Praticamente Certa

Alta

Média

Baixa

Praticamente Impossível

Secção 5/10 - Análise do Modo de Falha "**Retenção de materiais e equipamentos em alfândega**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

Praticamente Nula

Baixa

Média

Alta

Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

Praticamente Impossível

Baixa

Média

Alta

Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

Praticamente Certa

Alta

Média

Baixa

Praticamente Impossível

Secção 6/10 - Análise do Modo de Falha "**Conversão de moeda com desvalorização**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 7/10 - Análise do Modo de Falha "Interrupções de energia e falhas em serviços essenciais"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível

- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 8/10 - Análise do Modo de Falha "Alterações ao planeamento interno "

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 9/10 - Análise do Modo de Falha "**Falta de materiais para término de atividades**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Secção 10/10 - Análise do Modo de Falha "**Interrupção dos trabalhos devido à ocorrência de eventos climáticos**"

1. Na sua opinião a **severidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Nula
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

2. Na sua opinião a probabilidade de **ocorrência** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Impossível
- Baixa
- Média
- Alta
- Praticamente Certa

3. Na sua opinião a **Detetabilidade** deste modo de falha no projeto é:

- Praticamente Certa
- Alta
- Média
- Baixa
- Praticamente Impossível

Anexo 12 - Comparação par-a-par para critérios Severidade, Ocorrência e Detetabilidade

Especialista		Severidade	Ocorrência	Detetabilidade
E1	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 2.00 3.00)
	O	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00 2.00 3.00)
	D	(0.33, 0.50, 1.00)	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00 1.00 1.00)
E2	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 2.00 3.00)
	O	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.20 0.25 0.33)
	D	(0.33, 0.50, 1.00)	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00 1.00 1.00)
E3	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(2.00, 3.00, 4.00)	(3.00 4.00 5.00)
	O	(0.25, 0.33, 0.50)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00 2.00 3.00)
	D	(0.20, 0.25, 0.33)	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00 1.00 1.00)
E4	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 2.00 3.00)
	O	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00 2.00 3.00)
	D	(0.33, 0.50, 1.00)	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00 1.00 1.00)
E5	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 2.00 3.00)
	O	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.33 0.50 1.00)
	D	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 1.00 1.00)
E6	S	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00 2.00 3.00)
	O	(0.33, 0.50, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(2.00 3.00 4.00)
	D	(0.33, 0.50, 1.00)	(0.25, 0.33, 0.50)	(1.00 1.00 1.00)

Anexo 13 – Avaliação dos modos de falha

Alternativas	Esp.	Critérios		
		Severidade	Ocorrência	Detetabilidade
MF4 - Faturação mensal retida por decisão do cliente	E1	Alta	Baixa	Baixa
	E2	Alta	Média	Praticamente Impossível
	E3	Alta	Praticamente Impossível	Média
	E4	Média	Alta	Média
	E5	Alta	Praticamente Impossível	Baixa
	E6	Muito Alta	Média	Baixa
MF9 - Mão de obra qualificada insuficiente	E1	Muito Alta	Alta	Alta
	E2	Alta	Alta	Média
	E3	Alta	Praticamente Certa	Média
	E4	Muito Alta	Praticamente Certa	Média
	E5	Alta	Praticamente Certa	Baixa
	E6	Muito Alta	Praticamente Certa	Média
MF10 - Atrasos em processos administrativos complexos	E1	Média	Alta	Baixa
	E2	Alta	Praticamente Certa	Média
	E3	Alta	Média	Média
	E4	Média	Alta	Praticamente Impossível
	E5	Média	Média	Baixa
	E6	Média	Média	Média
MF11 - Retenção de materiais e equipamentos em alfândega	E1	Muito Alta	Praticamente Certa	Média
	E2	Alta	Alta	Baixa
	E3	Alta	Praticamente Certa	Baixa
	E4	Média	Alta	Média
	E5	Muito Alta	Praticamente Certa	Baixa
	E6	Alta	Praticamente Certa	Baixa
MF12 - Conversão de moeda com desvalorização	E1	Alta	Média	Baixa
	E2	Muito Alta	Média	Baixa
	E3	Alta	Alta	Média
	E4	Muito Alta	Média	Baixa
	E5	Muito Alta	Baixa	Média
	E6	Alta	Média	Média
MF13 - Interrupções de energia e falhas em serviços essenciais	E1	Alta	Praticamente Certa	Praticamente Impossível
	E2	Média	Alta	Baixa
	E3	Alta	Praticamente Certa	Média
	E4	Média	Praticamente Certa	Baixa
	E5	Alta	Alta	Baixa

Alternativas	Esp.	Critérios		
		Severidade	Ocorrência	Detetabilidade
	E6	Média	Praticamente Certa	Praticamente Impossível
MF16 - Alterações ao planeamento interno	E1	Média	Praticamente Certa	Média
	E2	Média	Média	Praticamente Certa
	E3	Praticamente Nula	Média	Média
	E4	Média	Alta	Praticamente Certa
	E5	Alta	Praticamente Certa	Praticamente Certa
	E6	Média	Alta	Alta
MF26 - Falta de materiais para término de atividades	E1	Alta	Praticamente Certa	Baixa
	E2	Alta	Alta	Média
	E3	Média	Alta	Praticamente Impossível
	E4	Média	Alta	Baixa
	E5	Alta	Praticamente Certa	Média
	E6	Muito Alta	Alta	Baixa
MF28 - Interrupção dos trabalhos devido à ocorrência de eventos climáticos	E1	Alta	Praticamente Certa	Baixa
	E2	Muito Alta	Média	Baixa
	E3	Alta	Praticamente Certa	Média
	E4	Alta	Alta	Baixa
	E5	Alta	Alta	Média
	E6	Muito Alta	Alta	Alta

Anexo 14 – Avaliação dos modos de falha – Números *fuzzy*

Alternativas	Esp.	Critérios								
		Severidade			Ocorrência			Detetabilidade		
MF4 - Faturação mensal retida por decisão do cliente	E1	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	2.5,	5.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E2	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(7.5,	10.0,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	0.0,	2.5)	(2.5,	5.0,	10.0)
	E4	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	0.0,	2.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E6	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
MF9 - Mão de obra qualificada insuficiente	E1	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	2.5,	5.0)
	E2	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E4	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E6	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
MF10 - Atrasos em processos administrativos complexos	E1	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E2	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	10.0)
	E4	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)
	E5	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E6	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)
MF11 - Retenção de materiais e equipamentos em alfândega	E1	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E2	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E4	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E5	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E6	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
MF12 - Conversão de moeda com desvalorizaçã o	E1	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E2	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E4	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E5	(7.5,	10.0,	10.0)	(0.0,	2.5,	5.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E6	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)
MF13 - Interrupções de energia e falhas em serviços essenciais	E1	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)
	E2	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E4	(2.5,	5.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)

Alternativas	Esp.	Critérios								
		Severidade			Ocorrência			Detetabilidade		
	E6	(2.5,	5.0,	7.5)	(7.5,	10.0,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)
MF16 - Alterações ao planejamento interno	E1	(2.5,	5.0,	7.5)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E2	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)	(0.0,	0.0,	2.5)
	E3	(0.0,	0.0,	2.5)	(2.5,	5.0,	7.5)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E4	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	0.0,	2.5)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(0.0,	0.0,	2.5)
	E6	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	2.5,	5.0)
MF26 - Falta de materiais para término de atividades	E1	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E2	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E3	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)
	E4	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E6	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
MF28 - Interrupção dos trabalhos devido à ocorrência de eventos climáticos	E1	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E2	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E3	(5.0,	7.5,	10.0)	(7.5,	10.0,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E4	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)
	E5	(5.0,	7.5,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(2.5,	5.0,	7.5)
	E6	(7.5,	10.0,	10.0)	(5.0,	7.5,	10.0)	(0.0,	2.5,	5.0)

Anexo 15 – BowTie - Definição da expressão geral do evento de topo em função dos eventos básicos

BowTie MF9 – Definição da expressão geral através das Equações A.1 a A.8.

$$P_{f_{E12}} = (1 - R_{E1} * R_{E2}) = (1 - (1 - P_{f_{E1}}) * (1 - P_{f_{E2}})) \quad (A.1)$$

$$P_{f_{E123}} = (1 - R_{E12} * R_{E3}) \quad (A.2)$$

$$P_{f_{E45}} = (1 - R_{E4} * R_{E5}) = (1 - (1 - P_{f_{E4}}) * (1 - P_{f_{E5}})) \quad (A.3)$$

$$P_{f_{E456}} = (1 - R_{E45} * R_{E6}) \quad (A.4)$$

$$P_{f_{Evento_Topo}} = P_{f_{E123}} * P_{f_{E456}} \quad (A.5)$$

$$P_{f_{Evento_Topo}} = (1 - R_{E12} * R_{E3}) * (1 - R_{E45} * R_{E6}) \quad (A.6)$$

$$P_{f_{Evento_Topo}} = (1 - (1 - P_{f_{E12}}) * (1 - P_{f_{E3}})) * (1 - (1 - P_{f_{E45}}) * (1 - P_{f_{E6}})) \quad (A.7)$$

$$P_{f_{Evento_Topo}} = \left(1 - \left(1 - \left(1 - (1 - P_{f_{E1}}) * (1 - P_{f_{E2}}) \right) \right) * (1 - P_{f_{E3}}) \right) * \left(1 - \left(1 - \left(1 - (1 - P_{f_{E4}}) * (1 - P_{f_{E5}}) \right) \right) * (1 - P_{f_{E6}}) \right) \quad (A.8)$$