

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Técnicas e Ferramentas Inovadoras para
Aprendizagem Ativa no Ensino de Ética Aplicada à
Engenharia Eletrotécnica**

Maria de Fátima Coelho Monteiro

Tese realizada no âmbito do
Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Armando Jorge Sousa

Janeiro 2025

*“Bendiz, ó minha alma, o Senhor
e todo o meu ser louve o seu Santo Nome.*

*Bendiz, ó minha alma, o Senhor
e não te esqueças de nenhum dos seus benefícios,
é Ele quem perdoa todas as minhas culpas
e cura todas as minhas enfermidades.*

(...)

*O Senhor é bondoso e compassivo,
paciente e cheio de misericórdia.”*

Sl 103, 1-3. 8

Página em branco

Resumo

A engenharia tem um papel fulcral na contemporaneidade ao nível social e económico e no uso dos recursos naturais. Para além de benefícios, a tecnologia desenvolvida pela engenharia demonstrou ter consequências negativas e perigosas e também consequências indesejáveis de risco desconhecido. Tal despertou para a necessidade de os cursos de engenharia incorporarem formação ética. Apesar da necessidade de incorporar formação ética nos cursos de engenharia ser largamente reconhecida, a sua aplicação nos cursos de engenharia é um enorme desafio, porque existe um défice de estudos sobre as competências que devem ser promovidas e sobre a avaliação dos resultados da aplicação de ferramentas pedagógicas adequadas aos estudantes de engenharia.

A investigação apresentada no presente documento pretende contribuir para atenuar este défice de investigação, quer ao nível da definição das competências que a formação ética deve desenvolver, quer no desenvolvimento e avaliação de instrumentos didático-pedagógicos para promover a formação ética em cursos de engenharia. O trabalho de investigação desenvolvido focou-se no uso de metodologias ativas de aprendizagem e nos cursos de engenharia eletrotécnica, mas também pode ser adaptado para se aplicar a qualquer outra área da engenharia.

A presente investigação resultou em diversas e importantes contribuições para a implementação prática da formação ética em engenharia e, em particular, na engenharia eletrotécnica. Algumas propostas foram também avançadas para subdomínios técnicos da eletrotecnia, nomeadamente a área das Instalações Elétricas, da interligação ao Sistema Elétricos de Energia dos veículos elétricos em larga escala e do Mercado Elétrico. As contribuições desta investigação incluem ainda a construção de um referencial das competências éticas que a formação ética em engenharia deve promover, um framework para ajuda ao desenvolvimento de atividades pedagógicas e algumas ferramentas pedagógicas desenvolvidas, das quais se destacam os jogos educativos criados e avaliados: Ethical Betrayal, GiSphera-building, EdScape e Market Collapse.

O presente trabalho de investigação pretende desta forma promover a formação ética e a prática da engenharia eletrotécnica eticamente mais responsável.

Página em branco

Abstract

Engineering plays a key role in contemporary times, socially and economically and in the use of natural resources. In addition to benefits, technology developed by engineering has been shown to have negative and dangerous consequences and also undesirable consequences of unknown risk. This highlighted the need for engineering courses to incorporate ethical education. The need to incorporate ethics education into engineering courses is widely recognized. However, its application in engineering courses is a huge challenge, because there is a lack of studies on the skills that should be promoted and on the evaluation of the results of the application of appropriate pedagogical tools to engineering students.

The research presented in this document envisages to reduce the mentioned research gap, both in terms of defining the skills that ethical education should develop, and in the development and evaluation of didactic-pedagogical instruments to promote ethical education in engineering courses. The research work focused on the use of active learning methodologies and electrical engineering courses, but can also be adapted to apply to any other area of engineering.

This research resulted in several important contributions to the practical implementation of ethical training in engineering and, in particular, in electrical engineering. Some proposals were also made regarding technical subdomains of electrical engineering, namely the area of Electrical Installations, the interconnection of large-scale electric vehicles to the Electrical Energy System and the Electricity Market. Additional contributions include the construction of a reference of ethical skills that ethical training in engineering should promote, a framework to help develop pedagogical activities and some pedagogical tools developed, of which the educational games created and evaluated stand out: Ethical Betrayal, GiSphera-building, EdScape and Market Collapse.

This research work hopes to contribute to the promotion of ethical education and the practice of more ethically responsible electrical engineering.

Página em branco

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor Armando Jorge Miranda de Sousa pela orientação, paciência, incentivo e apoio. Sem a sua preciosa ajuda, este trabalho não teria sido possível.

Agradeço ao Professor Doutor José Rui Ferreira (FEUP) e ao Professor Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira (ISEC) por terem disponibilizado as suas aulas para aplicar duas das ferramentas pedagógicas desenvolvidas.

Agradeço à Professora Doutora Carlinda Leite e à Professora Doutora Cristina Rocha, que orientaram o meu doutoramento em Ciências da Educação e me despertaram o gosto pela investigação sobre o ensino da engenharia e pela pedagogia.

Quero também agradecer aos meus alunos do ISEC, por me terem proporcionado o despertar para a importância e necessidade da formação ética dos estudantes dos cursos de engenharia, e por terem colaborado nos meus estudos sobre a dimensão prática da formação ética. São os estudantes que dão sentido a esta investigação.

Agradeço aos meus queridos pais, irmãos e sogros, por me apoiarem durante estes anos e por serem uma família maravilhosa.

E, de um modo mesmo muito especial, agradeço ao meu querido marido e às minhas queridas filhas, pelo seu incomensurável apoio, ajuda, amor e paciência. Sem o seu apoio e a sua presença amorosa e incentivadora não teria sido capaz.

Página em branco

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Índice	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xii
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Objetivos e desenho da investigação	2
1.2 - Principais publicações	5
1.3 - Organização do documento	6
Capítulo 2	9
Revisão da literatura para fundamentação geral	9
2.1 - A missão da engenharia	10
2.2 - A dimensão ética das escolhas	15
2.3 - A dimensão ética da atividade de projetar	17
2.4 - Análise bibliométrica	19
2.5 - A formação ética já está presente nos cursos de engenharia?	22
2.6 - A formação ética já está presente nos cursos de engenharia eletrotécnica?	25
2.6.1 - Metodologia específica	26
2.6.2 - Presença de formação ética explícita nos cursos de engenharia eletrotécnica	27
2.6.3 - Valorização atribuída à formação ética do ponto de vista da apresentação formal e oficial dos cursos	32
2.7 - Discussão das razões para a formação ética ainda estar pouco presente nos cursos de engenharia	34
2.8 - Implementação prática da formação ética em engenharia	38
2.9 - Conclusões do capítulo	42
Capítulo 3	45
Referencial para as competências que a formação ética em engenharia deve promover .	45
3.1 - Enquadramento	45
3.2 - Formação ética e desenvolvimento ético	49
3.3 - Objetivo específico e metodologia	50
3.4 - Competências éticas identificadas	52
3.4.1 - Proposta de objetivos de aprendizagem	57
3.5 - Conclusões do capítulo	62
Capítulo 4	65
Atividades pedagógicas para formação ética em unidade curricular específica	65
4.1 - Atividade pedagógica para cativar os estudantes para a formação ética em engenharia	68
4.1.1 - A necessidade de inovação pedagógica no ensino da ética em engenharia .	69
4.1.2 - Utilização de jogos no ensino da ética na engenharia	72
4.1.3 - Objetivos específicos e metodologia	74
4.1.4 - Descrição da atividade desenvolvida	76
4.1.5 - Resultados da perceção dos estudantes e da docente	80

4.1.6 - Conclusões específicas	83
4.2 - Ferramenta pedagógica para promoção de formação ética para a sustentabilidade: GiSphera - building	84
4.2.1 - Objetivo específico e metodologia	87
4.2.2 - Descrição do jogo educativo desenvolvido	88
4.2.3 - Resultados específicos e a sua análise	91
4.2.4 - Conclusões específicas	101
4.3 - Atividade pedagógica sobre correntes éticas contemporâneas	103
4.3.1 - Objetivos específicos de aprendizagem	104
4.3.2 - Descrição do jogo	105
4.3.3 - Conclusões específicas	109
4.4 - Conclusões do capítulo	109
Capítulo 5	111
Interligar formação ética com conteúdos técnico-científicos	111
5.1 - Objetivos específicos e metodologia	116
5.2 - Framework para desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação da ética com conteúdos técnico-científicos	118
5.3 - Caso de aplicação: interligar instalações elétricas, ética e sustentabilidade (Atividade Pedagógica IE+E+S)	131
5.3.1 - Desenvolvimentos técnicos para a Atividade Pedagógica IE+E+S	142
5.3.1.1 - Método de cálculo segundo uma perspetiva deontológica	142
5.3.1.2 - Método de cálculo segundo uma perspetiva económica de curto prazo	159
5.3.1.3 - Método de cálculo segundo uma perspetiva ambientalista	163
5.3.1.4 - Método de cálculo segundo uma perspetiva económica de longo prazo	171
5.3.1.5 - Método de cálculo segundo uma perspetiva sustentável	175
5.3.1.6 - Caso de estudo desenvolvido para a atividade pedagógica	177
5.3.2 - Avaliação da Atividade Pedagógica IE+E+S	186
5.4 - Caso de aplicação: interligar veículos elétricos, ética e sustentabilidade (Atividade Pedagógica VE+E+S)	191
5.4.1 Desenvolvimentos técnicos para a Atividade Pedagógica VE+E+S	200
5.4.1.1 Enquadramento	200
5.4.1.2 O uso de EV em larga escala é ambientalmente mais sustentável? Perspetiva micro versus macro	204
5.4.1.3 Objetivos específicos e metodologia	205
5.4.1.4 Resultados específicos	207
5.4.1.5 Conclusões específicas	224
5.4.2 - Avaliação da Atividade Pedagógica VE+E+S	225
5.5 - Caso de aplicação: o mercado elétrico e a ética (Atividade Pedagógica ME+E)	229
5.5.1 - Avaliação da Atividade Pedagógica ME+E	235
5.6 - Conclusões do capítulo	239
6	243
6.3 Conclusões	243
6.3.1 Principais contribuições	245
6.3.2 Publicações e reconhecimentos	247
6.3.3 Considerações finais, limitações e desenvolvimento futuro	249
Referências	251

Lista de figuras

Figura 1.1 - Diagrama que sintetiza o desenho metodológico da investigação.	4
Figura 2.1-Síntese das concepções da missão/papel da engenharia e das suas dimensões éticas.	13
Figura 2.2 - Contexto dos projetos de engenharia adaptado de Moriarty [44], em que as setas foram acrescentadas para representar as inter-relações entre os diferentes níveis de influência e contexto.	18
Figura 2.3- Número de publicações por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).	19
Figura 2.4 - Número de publicações por país com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).	20
Figura 2.5- Percentagem de publicações por domínio de conhecimento com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).	20
Figura 2.6 - Número de livros ou relatórios, desde 1905 até 2026, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).	21
Figura 2.7 - Número de livros ou relatórios, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74], desde 2000 até 2025 (dados em novembro de 2024).	21
Figura 2.8 - Número de livros ou relatórios, limitados à área da engenharia, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).	21
Figura 2.9 - proposta da estruturação e conjunto de tópicos que a formação ética em engenharia deve incluir segundo [73].	39
Figura 3.1 - Resumo da metodologia utilizada [152].	51
Figura 3.2 - Síntese das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia, destacando as suas inter-relações.	55
Figura 3.3 - Combinação das competências éticas com os níveis de desenvolvimento moral/ético definidos por Kohlberg e a taxonomia de Bloom para o domínio afetivo [152].	57
Figura 4.1 - Resumo da metodologia utilizada.	75
Figura 4.2 - Estudantes a analisarem pistas durante o jogo Ethical Betrayal.	79

Figura 4.3 - Tabuleiro do jogo, do jogo Ethical Betrayal, que representa partes de um escritório.	79
Figura 4.4 - Resumo da metodologia global utilizada no estudo descrito no ponto 4.2.	88
Figura 4.5 - Exemplos de tabuleiros de jogo de alguns grupos durante o jogo GiSphera - building.	89
Figura 4.6 - Ambiente do jogo EdScape (retirado de [238]).	105
Figura 4.7 - Exemplos de desafio do tipo “Colocar etiquetas” em “imagem”.	107
Figura 5.1 - Representação esquemática simplificada da interligação e contributos da formação ética na unidade curricular específica e em unidades curriculares técnico-científicas, e das suas inter-relações com a profissão, a sociedade e o meio ambiente.	113
Figura 5.2 - Resumo e esquema da metodologia usada no estudo apresentado no capítulo 5, baseada nos princípios de uma investigação-ação.....	117
Figura 5.3 - Síntese dos passos para a construção de ferramentas pedagógicas para promover a interligação entre ética e engenharia eletrotécnica considerando 2 diferentes pontos de partida: A - partir dos conteúdos técnico-científicos para evidenciar a sua dimensão ética; e B - partir da necessidade de promover uma competência ética específica.	119
Figura 5.4 - Síntese das diferentes combinações consideradas no estudo e de exemplos de aplicação correspondentes a cada caso.	120
Figura 5.5 - Inter-relações entre os diversos valores éticos necessários a um profissionalismo responsável.....	123
Figura 5.6 - Possíveis interligações dos conteúdos técnico-científicos do tipo projeto com o domínio da ética.....	125
Figura 5.7 - Classificação de algumas estratégias/atividades de ensino/aprendizagem em função do nível de atividade dos estudantes, da complexidade, do nível de autonomia e do consumo de tempo para a implementação (baseado em [278] e [279]).	130
Figura 5.8 - Enquadramento do tópico escolhido, relativo ao cálculo da secção de condutores elétricos dentro do da segurança nas instalações elétricas.	136
Figura 5.9 - Síntese do método de ensino tradicional do dimensionamento da secção de um condutor elétrico utilizando apenas o método definido nas RTIEBT (garantindo os requisitos mínimos de segurança).	141
Figura 5.10 - A interligação entre instalações elétricas, ética e sustentabilidade permitiu (Atividade Pedagógica IE+E+S) obter 5 soluções diferentes para o dimensionamento da secção transversal do condutor, e relacioná-las com valores éticos e de sustentabilidade.	141
Figura 5.11 - Fluxograma que evidencia a sequência lógica para aplicação do Critério de Aquecimento [295].	145
Figura 5.12 - Representação das condições que garantem a proteção face a sobrecargas [295].	146
Figura 5.13 - Esquematização do processo de verificação do critério da queda de tensão...	157

Figura 5.14 - Síntese o processo de dimensionamento da secção de um condutor tendo em conta as RTIEBT.	158
Figura 5.15 - Representação gráfica genérica de E_t , E_p e E_j evidenciando o seu ponto mínimo.	170
Figura 5.16 - Representação gráfica das funções $C_{\$totalis}$, C_{inv} e C_{exp} e indicação da $S_{\$min}$ (baseado em [285] e [286]).	174
Figura 5.17 - Síntese do processo iterativo proposto para cálculo da secção final.	178
Figura 5.18 - demonstração do cumprimento das condições para garantia de proteção contra sobrecargas usando um disjuntor, para a secção de 50mm ²	179
Figura 5.19 - demonstração do cumprimento das condições para garantia de proteção contra sobrecargas usando um disjuntor, para a hipotética secção de 42,5mm ²	180
Figura 5.20 - Opinião dos estudantes sobre a afirmação: "Os princípios éticos do/a projetista influenciam os resultados dos cálculos técnicos das instalações elétricas" (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a "concordo completamente com esta afirmação" e 1 corresponde a "discordo completamente desta afirmação").	189
Figura 5.21 - Resumo das etapas e da estrutura da Atividade Pedagógica VE+E+S.	197
Figura 5.22 - Síntese gráfica a evidenciar as principais fontes de emissões de CO ₂ resultantes da integração de VE em larga escala usando o modo SC ou CC-SC, numa macro perspectiva [328].	209
Figura 5.23 - Síntese gráfica a evidenciar as principais fontes de emissões de CO ₂ resultantes da integração de VE em larga escala usando o modo V2G ou G2V, numa macro perspectiva [328].	210
Figura 5.24 - Resultados em percentagem, das respostas pré e pós atividade sobre o grau de concordância com a afirmação: "A ética de cada entidade influencia os resultados dos cálculos do preço da energia para o consumidor final", em que 1 corresponde a "discordo totalmente" e 5 corresponde a "concordo totalmente".	238

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Listagem de livros publicados em língua inglesa, direcionados para a formação ética dos estudantes e profissionais da engenharia.	24
Tabela 2.2 - Percentagem dos cursos de engenharia portugueses (ensino público não militar) que incluíam formação ética nos planos curriculares de 2015/2016 [42].	25
Tabela 2.3 - Percentagem dos cursos de engenharia portugueses (ensino público não militar) que incluíam formação ética nos planos curriculares de 2015/2016 [81], em função da área dos cursos.	25
Tabela 2.4 - Sumário das instituições de ensino superior politécnico analisadas indicando as que lecionavam cursos de engenharia eletrotécnica. Se incluíam formação ética explícita na ficha de unidade curricular indica-se a respetiva unidade curricular (dados de 2020/2021).	27
Tabela 2.5 - Sumário das instituições de ensino superior universitário analisadas indicando as que lecionavam cursos de engenharia eletrotécnica. Se incluíam formação ética explícita na ficha de unidade curricular indica-se a respetiva unidade curricular (dados de 2020/2021).	28
Tabela 3.1 - Síntese das categorias de competências éticas referidas nos 29 documentos estudados neste sub-estudo, indicando quantidade de documentos que se referem a cada uma das competências [153].	52
Tabela 3.2 - Conjunto de 5 categorias não exclusivas que emergiram da análise e número de vezes que cada competência é mencionada no documento (Código Ético e Deontológico da Ordem dos Engenheiros).	53
Tabela 3.3- Resumo do conjunto de categorias não exclusivas identificadas no Código Deontológico da Ordem dos Engenheiros Técnicos e número de vezes que cada competência é mencionada no documento.	54
Tabela 3.4 - Resumo do conjunto de categorias não exclusivas identificadas no Código de Ética do IEEE e o número de vezes que cada competência é mencionada no documento.	54
Tabela 3.5 - Síntese dos objetivos pedagógicos e possível classificação usando a taxonomia de Bloom em termos de domínios cognitivo e afetivo.	59
Tabela 3.6 - Possível plano resumido para as aulas de uma unidade curricular de formação ética de um curso de engenharia eletrotécnica e de computadores, que resultou da aplicação do referencial desenvolvido.	60
Tabela 4.1 - Síntese de possíveis tipos de jogos a usar em função dos objetivos pedagógicos e intencionalidade pedagógica.	67

Tabela 4.2 - Sistematização da coerência entre as características desejáveis, os objetivos pedagógicos e as características do jogo.	77
Tabela 4.3 - Síntese das respostas dos alunos sobre o jogo e a sua utilização na sala de aula.	82
Tabela 4.4 - Síntese das respostas às questões A e B.	93
Tabela 4.5 - Síntese das respostas às questões C, D e E.	94
Tabela 4.6 - Síntese das respostas pós-jogo às questões I, J e K.	95
Tabela 4.7 - Síntese das respostas às questões L, M, N, O e P.	96
Tabela 4.8 - Síntese das respostas pós-jogo à questão N.	97
Tabela 4.9 - Síntese das respostas pós-jogo à questão O.	97
Tabela 4.10 - Síntese das categorias relativas às respostas sobre as mudanças/transformações que os alunos consideram necessárias para atingir a sustentabilidade (pré-jogo).	99
Tabela 4.11 - Síntese das categorias relativas às respostas sobre as mudanças/transformações que os alunos consideram necessárias para atingir a sustentabilidade (pós-jogo).	100
Tabela 4.12 - Resultados do inquérito pré-jogo relativamente à perceção dos estudantes sobre o seu conhecimento sobre os conceitos abordados no jogo.	108
Tabela 4.13 - Resultados do inquérito pós-jogo relativamente à perceção dos estudantes sobre o efeito do jogo nos seus conhecimentos sobre os conceitos abordados no jogo.	109
Tabela 5.1 - síntese das condições segundo as RTIEBT para garantia de condições mínimas de segurança da própria instalação.	155
Tabela 5.2 - Valores dos parâmetros de Arrhenius para condutores com isolamento em PVC e em EPR (fonte: [304]).	166
Tabela 5.3 - Secções obtidas para cada uma das perspetivas consideradas e para cada um dos 2 cenários estudados.	184
Tabela 5.4 - Poupanças (económicas e de emissões de CO ₂) que se obtêm em caso de substituir a secção técnica de 50 mm ² e usar a secção mais sustentável.	185
Tabela 5.5 - Síntese das características de cada uma das perspetivas estudadas.	185
Tabela 5.6 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”).	188
Tabela 5.7 - Percentagem dos alunos de acordo com a resposta à pergunta “O que considera mais importante no dimensionamento de uma instalação elétrica?”.	188
Tabela 5.8 - Respostas a um conjunto de perguntas (pré e pós atividade) sobre opções técnicas relacionadas com os temas abordados na Atividade Pedagógica IE+E+S. Resultados em percentagem dos alunos. As respostas corretas estão em itálico.	189

Tabela 5.9 - Respostas a um conjunto de perguntas técnicas sobre o caso de estudo da Atividade Pedagógica IE+E+S. As respostas corretas estão em itálico. Os valores correspondem à percentagem de respostas.....	191
Tabela 5.10 - Síntese dos estudos identificados na revisão de literatura que descrevem dados quantitativos que foram usados para os cálculos do presente estudo [328].	207
Tabela 5.11 - Síntese das características teóricas de cada um dos modos de integração e gestão de VE de acordo com a literatura. Usaram-se as designações descritas no enquadramento: NC, WCNC, V2G e G2V [328].	208
Tabela 5.12 - Síntese das principais fontes de emissões devido aos VE em larga escala e numa macro perspetiva, para os modos V2G ou G2V. Para os modos SC ou CC-SC, os itens relativos às comunicações e processamento de dados são excluídos, uma vez que o seu uso será muito menor [328].	211
Tabela 5.13 - Resumo dos dados usados para o cálculo das emissões considerando o ciclo de vida de VE e de VCI. Os dados estão em gCO ₂ e/km.	215
Tabela 5.14 - Resumo das emissões parciais calculadas até este ponto do estudo (sem considerar as infraestruturas da rede de distribuição) para um VE.	218
Tabela 5.15 - Resumo de todos os cálculos parciais e o cálculo total das emissões em função do modo de integração (V2G e G2V) dos VE (em gCO ₂ e/km), e para os VCI. ...	222
Tabela 5.16 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”). Nota: nos casos assinalados com * usou-se uma escala de 3 pontos.	227
Tabela 5.17 - Percentagem dos alunos de acordo com as respostas a um conjunto de perguntas (semiabertas) sobre algumas questões relacionadas com os temas abordados na atividade. As possíveis respostas corretas estão sombreadas.	228
Tabela 5.18 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”).	237
Tabela 5.19 - Percentagem dos alunos de acordo com as respostas a um conjunto de perguntas sobre algumas questões relacionadas com os temas abordados no jogo. As respostas corretas estão sombreadas.	238

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas:

AC	Corrente alternada
CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissões de CO ₂
CC-SC	Sistema de interligação com condicionamento, mas sem controlo
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
G2V	Sistema de interligação com controlo parcial (Grid-to-Vehicle)
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
MEIC-FEUP	Mestrado em Engenharia Informática e Computação
MEEC-FEUP	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
PVC	Policloreto de Vinilo
RTIEBT	Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SEE	Sistema de Energia Elétrica
SEFI	European Society for Engineering Education
SPEE	Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia
SC	Sistema de interligação sem controlo
UC	Unidade Curricular
V2G	Sistema de interligação com controlo total (Vehicle to Grid)
VE	Veículos elétricos
VCI	Veículos de Combustão Interna
XLPE	Polietileno Reticulado

Lista de símbolos:

α	Coefficiente de termorresistividade
α_{20}	Coefficiente de temperatura para o cobre a 20 °C
ΔV	Queda de tensão ao longo dos condutores
ΔE_p	Diferença das emissões de CO ₂ devidas à produção do condutor
ΔE_e	Diferença das emissões de CO ₂ devidas às perdas no condutor
θ	Ângulo de desfasamento entre a tensão e a corrente

θ_{ref}	Temperatura de referência
θ_t	Temperatura de operação
ρ	Resistividade do material da alma condutora
ρ_{20}	Resistividade a 20 °C
ρ'	Resistividade do cobre para a temperatura de funcionamento
Φ	Ângulo de desfasamento na situação de defeito
Ω	Velocidade angular
a	Parâmetros de Arrhenius definidas em função do tipo de condutor
b	Parâmetros de Arrhenius definidas em função do tipo de condutor
$C_{\$ totais}$	Custos totais
C_{inv}	Custos de investimento
C_{exp}	Custos de exploração
$C_{exp \text{ anual}}$	Custos de exploração para 1 ano
CO_2	Dióxido de carbono
C_{lic}	Custo da licença de emissão de CO_2
$C_{emissões}$	Custo total das emissões de CO_2 para uma dada secção
C_{fixos}	Custos de manutenção e de envelhecimento
D	Tempo de vida estimado de um condutor
E	Preço da energia elétrica
E_s	Tensão da fonte
E_j	Emissões de CO_2 devidas às perdas de Joule
E_p	Emissões de CO_2 devido ao fabrico do condutor
E_t	Emissões totais de CO_2
F_c	Fator de correção
H	Horas de funcionamento por ano
I_z	Intensidade de corrente máxima admissível
$I_{z_{real}}$	Intensidade de corrente máxima admissível nas condições reais de instalação
I_B	Corrente de serviço prevista
I_n	Corrente estipulada para o dispositivo de proteção
I_2	Corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção
I_{DC}	Componente contínua da corrente de curto-circuito
I_{AC}	Componente AC da corrente de curto-circuito
I_{cc}	Corrente de curto-circuito
I_{pico}	Valor de pico da corrente de curto-circuito
$I_{máxpico}$	Valor de pico da corrente máxima de curto-circuito
$I_{cc_{min}}$	Corrente de curto-circuito mínima
$I_{cc_{máx}}$	Corrente máxima de curto-circuito previsível
I_a	Componente ativa da corrente de serviço

I_r	Componente reativa da corrente de serviço
K	Constante
K_c	Custo do condutor em função da seção por unidade de comprimento
K_p	Referência das emissões de CO_2 que ocorrem na produção do condutor/cobre
K_{mo}	Custos de mão de obra
K_e	Referência das emissões de CO_2 associadas com a produção de energia elétrica
L	Comprimento do condutor
Li	Indutância do circuito de defeito
N	Tempo de vida esperado para a instalação (em anos)
N_{ca}	Número de condutores ativos
N_s	Número de substituições do condutor ao longo do tempo de vida da instalação
N_c	Número de condutores
P	Potência ativa
P_j	Perdas de Joule ao longo do funcionamento da instalação
PRI	Período de retorno do investimento
P_{dc}	Poder de corte do dispositivo de proteção
R	Resistência do condutor por unidade de comprimento
R_{fase}	Resistência do condutor de fase
R_{neutro}	Resistência do condutor de neutro
R_k	Resistência do condutor
R_θ	Resistência do condutor para a temperatura pretendida
$R_{\theta ref}$	Resistência do condutor a uma temperatura de referência
R_t	Resistência de cada condutor (para a temperatura da alma condutora)
S	Secção do condutor
S_n	Potência nominal do transformador
$S_{\epsilon min}$	Secção que minimiza os custos totais de investimento e exploração
$S_{técnica}$	Secção mínima técnica
S_{amb}	Secção que minimiza as emissões de CO_2
S_{sust}	Secção mais sustentável tendo em conta a dimensão económica e ambiental
S_k	Secção mínima capaz de suportar a corrente de curto-circuito
S_{cc}	Potência de curto circuito
t	instante de tempo
t_a	Tempo de atuação do equipamento de proteção contra sobreintensidades
t_{act}	Taxa de atualização do valor do dinheiro
T_B	Temperatura do condutor em regime permanente para a corrente I_B
T_A	Temperatura ambiente de referência
T_{ft}	Tempo de fadiga térmica do condutor
T_z	Temperatura máxima recomendada em regime permanente

V_c	Tensão nominal composta
V_s	Tensão simples nominal
$v\%$	Tensão de curto-circuito do transformador
W_c	Peso do condutor por unidade de comprimento
X	Reatância
X_k	Reatância do condutor
X_{km}	Reatância do condutor por km
X_{rede}	Reatância da rede a montante
X_{transf}	Reatância interna do transformador
Z_k	Impedância dos condutores
Z_{neutro}	Impedância do condutor de neutro
Z_{cc}	Impedância do circuito de defeito

Capítulo 1

Introdução

“Engineering is both a technical and a social endeavour; that engineers don’t just build things, they build society; (...) engineering is an inherently ethical enterprise.”

D. Jonhson, “Engineering Ethics: Contemporary and Enduring Debates”, Yale University Press, 2020

“Ser engenheiro é ter licença para transformar o mundo”

<https://www.ordemosengenheiros.pt/pt/>

O rápido progresso da engenharia nos últimos séculos permitiu o desenvolvimento e aplicação de um exponencialmente crescente número de equipamentos e soluções tecnológicas [1]. A tecnologia que a engenharia desenvolveu foi rapidamente reconhecida como uma mais valia pelo sector económico e pela sociedade [2]. Como resultado, a tecnologia impulsionou o desenvolvimento económico (e este impulsiona a contínua inovação tecnológica), tornou próximo o que era distante, tornou rápido o que era demorado e mudou os comportamentos dos indivíduos, quer ao nível das suas inter-relações, quer da sua relação consigo mesmo ou com o meio ambiente em que o ser humano se insere [3] [4]. Segundo a Ordem dos Engenheiros, “ser engenheiro é ter licença para transformar o mundo” [5].

Na contemporaneidade reconhece-se o colossal papel que a engenharia teve e tem ao nível social, económico e, especialmente, no uso dos recursos naturais [6] [7] [8]. Contudo, a tecnologia desenvolvida pela engenharia demonstrou ter, para além de benefícios, facetas e consequências nefastas, perigosas e também consequências indesejáveis de risco desconhecido [9] [7] [4] [10] [11] [12]. A falta de previsão das potenciais consequências negativas da tecnologia na sociedade, na economia e no ambiente, despertou para a necessidade de incorporar formação ética nos cursos de engenharia, com o objetivo de promover a responsabilidade ética pelas criações tecnológicas criadas pelos profissionais da engenharia e pelas consequências que resultam do seu uso.

A necessidade de incorporar formação ética nos cursos de engenharia é largamente reconhecida e, como tal, foi o ponto de partida para a presente investigação tal como explicitamente referido no referencial EurACE EUR-ACE [13] (Section 6, transferable skills). Todavia, integrar formação ética nos cursos de engenharia é um enorme desafio, quer no que respeita às competências que devem ser promovidas, quer na escolha dos métodos pedagógicos a usar [14] [15]. Segundo Barendregt *et al.* [14], existe um preocupante défice de ferramentas pedagógicas nesta área, de estudos e publicações científicas sobre a avaliação dos resultados da aplicação de metodologias pedagógicas na formação ética dos estudantes de engenharia. Assim, a investigação apresentada no presente documento pretende contribuir para atenuar este défice de investigação, quer ao nível da definição das competências que a formação ética deve desenvolver, quer no desenvolvimento e avaliação de instrumentos didático-pedagógicos para promover a formação ética em cursos de engenharia. O trabalho de investigação desenvolvido focou-se nos cursos de engenharia eletrotécnica, mas também pode ser adaptado para se aplicar a qualquer outra área da engenharia. Tendo em conta o estudo [16], o presente trabalho de investigação focou-se nas metodologias ativas de aprendizagem, uma vez que são mais eficientes na aprendizagem.

1.1 - Objetivos e desenho da investigação

Neste contexto, a questão de investigação (Q0) que se pretende responder é: como promover a formação ética dos estudantes de engenharia (com foco na engenharia eletrotécnica) usando instrumentos que sejam pedagogicamente adequados e eficazes? Esta questão de investigação principal tem duas vertentes: o que promover; e como promover perante determinado enquadramento. Assim, a questão foi subdividida em duas subquestões:

Q1 - Que competências se pretendem alcançar com a formação ética?

Q2 - Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?

A subquestão Q2 foi dividida em 3 vertentes que incluem enquadramentos diferentes:

Q2.1 - No enquadramento de uma Unidade Curricular (UC) dedicada especificamente à formação ética, que conteúdos e instrumentos pedagógicos são adequados?

Q2.2 - No enquadramento de UCs técnico-científicas que incluem alguma parte de formação ética, que conteúdos e instrumentos pedagógicos são adequados?

Q2.3 - Conhecido um determinado enquadramento, avaliar o uso dos instrumentos pedagógicos.

Para cada uma destas questões foram implementadas investigações específicas. Tendo por base as questões de investigação, o principal objetivo desta investigação foi propor formas de promover a formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica, que sejam científica e pedagogicamente adequadas e eficazes, com o valor acrescentado adicional da validação de

propostas concretas. Tal será um importante contributo para fomentar a formação ética dos estudantes de engenharia eletrotécnica e para uma melhor prática profissional tal como preconizado explicitamente pelo referencial educativo EUR-ACE e pelas associações profissionais (Ordem dos Engenheiros [17], Ordem dos Engenheiros técnicos [18], IEEE [19], EUR-ACE [13]).

Com o intuito de alcançar os objetivos descritos, definiu-se o seguinte desenho da investigação (DI):

DI 1 - Para responder à subquestão Q1 (Que competências se pretendem alcançar com a formação ética?):

DI 1.1 - Investigou-se quais as competências éticas que são necessárias à prática profissional da engenharia - uma vez que para se definirem conteúdos, estratégias e ferramentas pedagógicas é imprescindível começar por definir quais os objetivos e competências a promover. Para tal, considerou-se necessário investigar quais as competências éticas que são reconhecidas como necessárias:

DI 1.1.1 - Pelas entidades responsáveis pelo exercício profissional da engenharia (Ordem dos Engenheiros e Ordem dos Engenheiros Técnicos), tendo-se considerado também uma entidade de referência internacional a nível da engenharia eletrotécnica (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE).

DI 1.1.2 - Pelas publicações científicas na área.

DI 1.2 - Desenvolveu-se uma conceptualização e estruturação das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia.

DI 1.3 - Construiu-se uma proposta de planeamento de uma unidade curricular específica de formação ética.

DI 2 - Para responder à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos concretos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?) - na vertente Q2.1 (construir instrumentos pedagógicos para aplicar em unidades curriculares dedicadas à formação ética):

DI 2.1 - Tendo por base as competências definidas no ponto anterior, construíram-se ferramentas pedagógicas ativas adequadas aos estudantes de engenharia eletrotécnica, para aplicar em unidades curriculares específicas de formação ética.

DI 2.2 - As ferramentas desenvolvidas no ponto anterior foram implementadas em aula numa unidade curricular específica de formação ética e foram recolhidos dados para avaliar os seus resultados, nomeadamente na aprendizagem dos estudantes (Q2.3).

DI 3 - Para responder à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos concretos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?), na vertente Q2.2 (construir instrumentos pedagógicos para aplicar em unidades curriculares técnico-científicas):

DI 3.1 - Construiu-se um framework que facilita e estrutura o desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação entre ética e conteúdos técnico-científicos.

DI 3.2 - Testou-se e exemplificou-se a aplicação do framework a casos concretos (Q2.3):

DI 3.2.1 - Desenhou-se ferramentas pedagógicas adequadas aos estudantes de engenharia eletrotécnica, interligando a formação ética com a formação técnico-científica.

DI 3.2.2 - As ferramentas desenvolvidas no ponto anterior foram implementadas em aulas de diferentes unidades curriculares e foram recolhidos dados para avaliar os seus resultados, nomeadamente na aprendizagem dos estudantes.

A figura 1.1 sintetiza o desenho da investigação que se implementou, tendo em conta as questões de investigação e os objetivos enunciados.

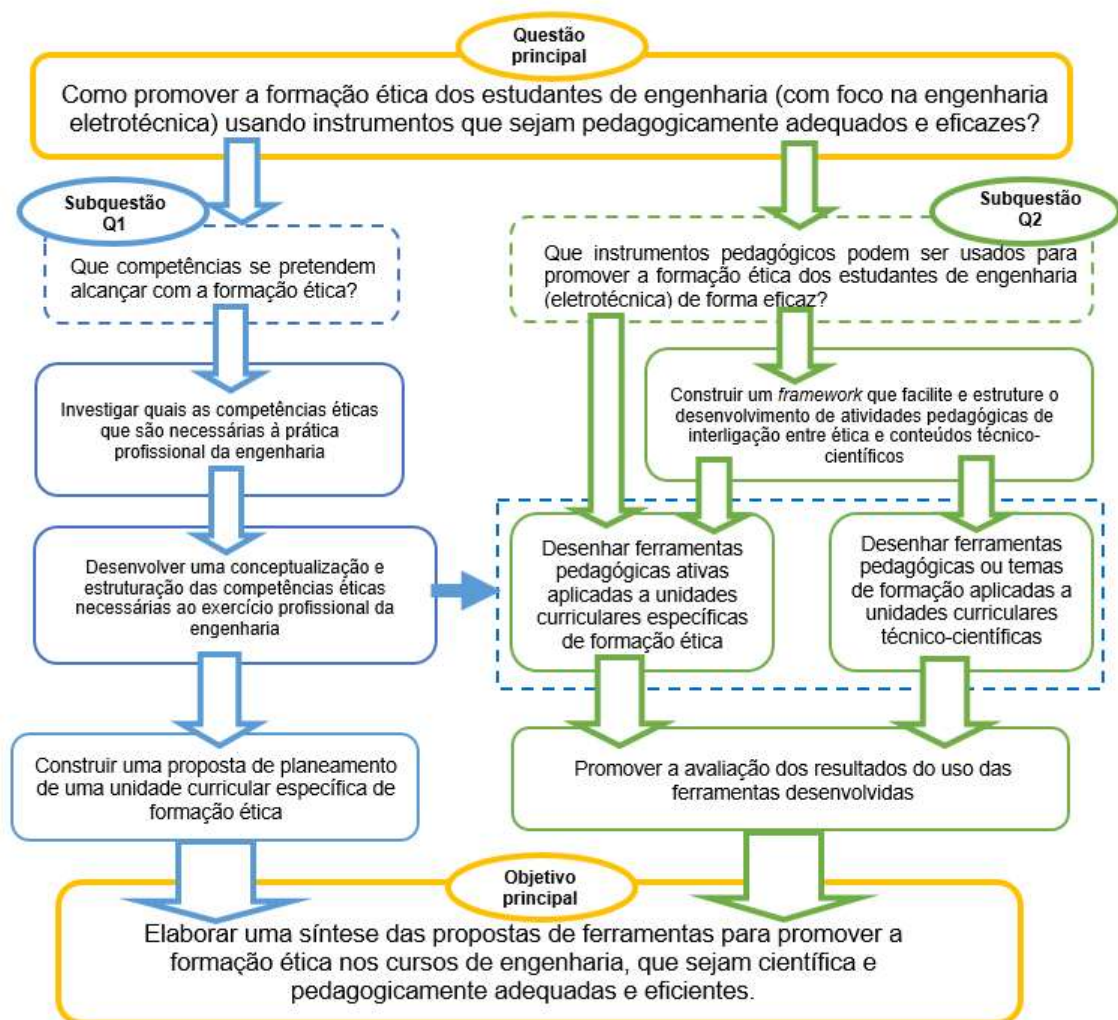


Figura 1.1 - Diagrama que sintetiza o desenho metodológico da investigação.

1.2 - Principais publicações

A presente investigação resultou em diversas contribuições para a implementação prática da formação ética em engenharia e, em particular, na engenharia eletrotécnica. Algumas contribuições concretas foram também avançadas para subdomínios técnicos da eletrotecnia. No sentido em que contribui para a promoção da formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica, este trabalho contribui para promover uma prática da engenharia eletrotécnica eticamente mais responsável. Das contribuições desta investigação (descritas de forma detalhada nas Conclusões), salientam-se os artigos e prémio que resultaram deste trabalho:

- Artigos em revista internacional com revisão por pares:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Decentring engineering education beyond the technical dimension: ethical skills framework. *London Review of Education*, 22 (1), 23. DOI: <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.23> - (Web of Science e Scopus)
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 16 (4), 1029-1041. <https://doi.org/10.1108/JARHE-02-2023-0056> - (Scopus)
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). An educational board game to promote the engagement of electric engineering students in ethical building of a sustainable and fair future. *The Journal of Environmental Education*, 55, (2), 138-152, DOI: 10.1080/00958964.2023.2259832 - (Web of Science e Scopus)
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). CO2 Emissions Resulting from Large-Scale Integration of Electric Vehicles Using a Macro Perspective. *Applied Sciences*, 14, (14), 6177. <https://doi.org/10.3390/app14146177> - (Web of Science e Scopus)
- Prémio:
 - O artigo intitulado “Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering” que foi publicado no *Journal of Applied Research in Higher Education*, recebeu o primeiro prémio no âmbito do concurso “Prémios Novas Fronteiras da Engenharia - Edição 2024” promovido pela Ordem dos Engenheiros da Região Centro na categoria “Docentes do Ensino Superior”.
- Artigos apresentados em conferência internacional com apresentação oral:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). The need to include ethics education in engineering courses: looking to the role of engineering. In 2023 5th International Conference of the Portuguese Society for Engineering

- Education (CISPEE) (pp. 1-5). 5-7 julho. IEEE.CISPEE - International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education.
- Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). Presence of environmental sustainability education in electrical engineering curricular plans. The 3rd International Conference on: Climate Change & Environmental Sustainability (CCES), 17-18 set. 2023
 - Monteiro, F., and Sousa, A. (2022). Evolution of the presence of ethical education in electrical engineering programs in Portugal. In INTED2022 Proceedings (pp. 5499-5505). IATED.
 - Monteiro, F., and Sousa, A. (2022). Ethical Competences that are Necessary for the Engineering Professional Practice Acknowledged in Professional Deontological Code. In INTED2022 Proceedings (pp. 8490-8495). IATED.
 - Artigos apresentados em conferência internacional com poster:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). Use of serious games applied to the electrical engineering teaching. SERIOUS 2023 - International Congress in Serious Games & Emotional Competence in Higher Education. 16-17 out.

1.3 - Organização do documento

O documento está estruturado em 6 capítulos, em que o primeiro apresenta a introdução da investigação efetuada, os objetivos, a metodologia usada e as principais contribuições do trabalho.

No segundo capítulo é feita a revisão da literatura na área sob estudo, isto é, sobre a formação ética em cursos de engenharia. Este capítulo inclui as razões que justificam a necessidade de incluir a formação ética nos cursos de engenharia; e a análise sobre se a formação ética já está presente nos cursos de engenharia e, mais especificamente, nos cursos de engenharia eletrotécnica. Este último ponto inclui resultados obtidos no âmbito do trabalho de investigação (estudo realizado com foco nos cursos de engenharia eletrotécnica em Portugal).

O 3º capítulo apresenta a investigação feita para responder à subquestão Q1 (Que competências se pretendem alcançar com a formação ética?) e os seus resultados. Uma vez que este trabalho foi publicado na revista London Review of Education, o capítulo tem por base o artigo publicado.

Os capítulos 4 e 5 focam-se na resposta à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?): no capítulo 4 o foco são os instrumentos pedagógicos para aplicar em unidades curriculares dedicadas à formação ética (unidades curriculares específicas); e no capítulo 5, o foco são os instrumentos pedagógicos para aplicar em unidades

curriculares técnico-científicas. O 4º capítulo descreve três atividades pedagógicas (jogos educativos) que foram construídas para aplicar em unidades curriculares específicas de formação ética e que foram desenhadas para se adequarem a estudantes dos cursos de engenharia eletrotécnica. Também são apresentados os resultados da sua aplicação real. Duas destas atividades deram origem a duas das publicações referidas atrás (“Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering” e “An educational board game to promote the engagement of electric engineering students in ethical building of a sustainable and fair future”) e por isso o capítulo inclui esses artigos. No capítulo 5 apresentam-se 3 atividades pedagógicas e os resultados da sua aplicação prática. Estas atividades interligam a ética com conteúdos técnico-científicos da área da engenharia eletrotécnica e podem ser aplicadas em unidades curriculares de conteúdos técnico-científicos. No entanto, num dos casos, por falta de uma unidade curricular na área em causa, a atividade foi aplicada numa unidade curricular específica de formação ética, num curso de engenharia eletrotécnica e de computadores.

No 6º capítulo expõem-se as reflexões finais e sintetizam-se as contribuições mais relevantes de toda a investigação feita.

Capítulo 2

Revisão da literatura para fundamentação geral

“The role of the engineer in our society is undergoing a dramatic change. In these troubled times it is clear that some of our major problems - air pollution, urban crowding, water shortages, and transportation breakdowns - are the indirect results of engineering activities. At the same time, it is obvious that for the solution of these and other pressing problems, society must look to the engineering profession.”

Ralph Smith, “Engineering as a career”, McGraw-Hill, 1969

A ação da engenharia moldou a evolução histórica da humanidade [1], as relações entre os indivíduos e entre as nações [20] [21] [3] [22] [9] [23] e a relação do ser humano com o meio ambiente em que se integra [24] [3] [25] [4] [26] [27] [28]. Como exemplo desta influência, refere-se o papel determinante que a engenharia teve e tem na evolução da medicina através dos meios de diagnóstico e tratamento, ou a influência na evolução da produção industrial e da constante inovação tecnológica que alimenta o desenvolvimento económico [29] [30]. Como tal, a ação da engenharia tem um elevado impacto na sociedade contemporânea [29] [3] [31] [8] [32] [33], pelo que [2] e [1] afirmam que não existe nenhuma outra atividade profissional com maior impacto na sociedade contemporânea e até no futuro. Apesar deste enorme impacto, [2] alertam que os profissionais da engenharia tinham e têm pouca perceção do seu impacto e das consequências da sua ação.

Atualmente, cada indivíduo e a sociedade no seu conjunto, alimentam uma constante dependência da engenharia. Esta dependência pressupõe que a sociedade deposita confiança nas competências e decisões da engenharia e dos seus profissionais e, em simultâneo, alimenta e reforça essa confiança [17], apesar de serem cada vez mais as vozes críticas tendo em conta as implicações da tecnologia ao nível social, económico e ambiental [33] [34] [11] [35].

Para Bentes, Costa e Almeida [6], a dimensão ética da engenharia assenta em três grandes pontos: é necessário avaliar se a tecnologia é eticamente neutra ou não; é necessário avaliar com base em valores se a tecnologia que a engenharia desenvolve é boa ou má para a humanidade; e é necessário definir qual é a missão/objetivo da engenharia (isto é, quais são os objetivos da tecnologia criada pela engenharia [36]).

O sucesso da engenharia conduziu a uma evolução tecnológica que está a moldar, condicionar e limitar o futuro [33]. Para a National Academy of Engineering [35], devido ao vasto papel e impacto da engenharia e à sua crescente intervenção em ambientes complexos e desconhecidos, é essencial integrar a dimensão ética na prática profissional da engenharia para corresponder de forma responsável à confiança pública [17] de que depende a prática da engenharia, e orientar a sua prática para a promoção do bem comum (entendido como o conjunto de condições que proporcionam o bem-estar e as condições de vida condignas de todos os membros da comunidade humana [37] [38]).

2.1 - A missão da engenharia

A história da engenharia faz parte da história da própria humanidade e nasceu com a própria espécie humana [39]. O esforço, a criatividade e o desenvolvimento de ferramentas, artefactos tecnológicos e técnicas de produção ou de construção, que a pesquisa arqueológica e a história provam ter existido e evoluído desde tempo remotos, demonstram a longínqua relação entre a engenharia e a humanidade.

Apesar da longa história da engenharia (enquanto prática) ao longo da história da humanidade, só muito recentemente é que esta se estruturou como uma formação superior e foi definida como uma profissão [40]. Só no século XVIII é que a engenharia passou a ser estruturada como uma formação superior, começando em França, mas evoluindo para outros países como Alemanha, Espanha, República Checa e Portugal. Na maioria dos casos, tratava-se de uma formação inserida no meio militar e com fins militares [41]. O exemplo da *École Polytechnique* em França (uma das mais importantes escolas em que o ensino superior da engenharia começou) ilustra como na sua génese a formação superior de engenheiros não foi estruturada com objetivos neutros ou puramente técnicos, mas com o objetivo de criar um determinado perfil de sociedade, que no caso da *École Polytechnique* foi o de criar uma “sociedade científica” [42].

Ao longo do tempo, os objetivos e o papel da engenharia foram mudando, mas mantiveram-se os principais traços comuns:

- No século XIX e princípio do século XX, a engenharia tinha por objetivo converter as grandes potencialidades e recursos da natureza para benefício dos seres humanos [39].

- A partir dos anos 20 do século XX, foi-lhe acrescentado um objetivo adicional: converter as grandes potencialidades e recursos da natureza para benefício dos seres humanos de forma económica e segura, e para o bem da humanidade [39].
- Nos anos 50 do século XX foi reforçado o objetivo da eficiência técnica [39].
- Para Smith [39], a engenharia (que aplica na prática o conhecimento científico) tem por objetivo compreender as leis do mundo físico para as poder usar de forma a tirar partido dos recursos da natureza, dominar o meio ambiente e modificar os seus fatores negativos, para o bem da humanidade. Para este autor, assim a engenharia contribui também para o desenvolvimento moral da humanidade, uma vez que reduz o medo e a superstição perante o desconhecido.
- Mitcham [43] define a engenharia como a aplicação dos conhecimentos científicos com o objetivo de converter os recursos naturais de forma ideal em estruturas, máquinas, produtos, sistemas e processos para o benefício da humanidade.
- Na prática da engenharia, para Dürr [4], a vertente económica é o seu foco e objetivo principal. Este investigador salienta que a engenharia tem por principal papel converter o conhecimento científico em tecnologia passível de ser rentabilizada economicamente.
- Para Stephan *et al* [1], a engenharia é uma atividade profissional que aplica o conhecimento científico na construção de artefactos técnicos (engenhos) para satisfação dos desejos humanos.
- Moriarty [44] define engenharia como sendo “the practice of making good on the promise of technology”.
- A perspetiva económica da engenharia é muito valorizada atualmente ao nível político, económico e social, devido ao reconhecimento do papel que a tecnologia (e como tal, da engenharia, uma vez que é esta que converte o conhecimento técnico-científico em tecnologia [45]) teve, tem ou pode ter no desenvolvimento económico [46]. Esta perspetiva está em linha com a visão da tecnologia criada pela engenharia, como chave para a transformação dos recursos naturais em recursos comercializáveis [4].
- Para Harris *et al* [47] a engenharia é uma profissão que se diferencia das restantes (advocacia, medicina...), uma vez que estas têm como objetivo servir o cliente, o empregador, o paciente; mas a engenharia tem a obrigação servir o bem comum. Alertam ainda, que as características para que uma atividade profissional seja considerada como “profissão” implica, entre outros aspetos, ser regulada por princípios éticos que podem estar definidos em códigos de ética (tal como é o caso da engenharia).
- Para Wilson [48], a engenharia é o processo de desenvolvimento de mecanismos/tecnologias eficientes que tornem o trabalho mais fácil e rápido

usando recursos limitados. Para este processo, a própria engenharia já recorre à tecnologia que anteriormente desenvolveu e que lhe facilita o seu processo de desenvolvimento, justificando-se assim, a crescente rapidez no processo. Por outro lado, a maior rapidez e facilidade do processo de produção (trabalho), traduz-se em benefícios económicos (redução dos custos).

Tendo por base estas conceções sobre os objetivos e a missão da engenharia, constata-se que os vários conceitos da engenharia têm em comum o facto desta ter por foco a utilização dos recursos naturais, que incluem as matérias primas e a energia disponíveis na natureza [39] [44] [49]. O impacto da exploração dos recursos naturais, os objetivos com que se usam, a ponderação entre os benefícios (económicos, sociais e ambientais) dessa exploração e os efeitos negativos (a curto e longo prazo) implicam uma dimensão técnico-económica [49]. Porém, também se enquadram no domínio ético, pois no processo de uso e consumo dos recursos naturais está subjacente a consideração de valores éticos, devido aos efeitos sobre os potenciais afetados, incluindo os diversos seres vivos e as gerações futuras [44] [12]. Perante tal, o exercício responsável da engenharia, do ponto de vista do uso dos recursos, implica também uma análise ética, que deverá fundamentar as decisões e a ação prática dos profissionais da engenharia [44]: que recursos serão usados? Com que objetivos? Quem serão os potenciais beneficiados (direta e indiretamente)? Quem serão os potenciais prejudicados? Quais as consequências a curto e longo prazo (sociais, ambientais e económicas)? Com que critérios (técnicos e éticos) se tomam as decisões?

Outro aspeto central que está presente nas várias conceções da missão da engenharia, é o facto da utilização dos recursos naturais e a criação de artefactos tecnológicos ter por objetivo o “benefício dos seres humanos”, “o bem da humanidade”, a “satisfação dos desejos humanos”. Estes objetivos estão em linha com a definição da Ordem dos Engenheiros, que considera que a engenharia tem por objetivo “melhorar as condições de vida da humanidade” [17]. No entanto, um objetivo tão nobre levanta sérias e complexas questões de difícil resposta: como sabemos se um determinado artefacto tecnológico ou processo de produção contribui para o bem da humanidade? E como podemos definir o que é o “bem da humanidade” para que se possa orientar a ação da engenharia? O problema ainda se torna mais complicado se considerarmos que a complexidade da ação da engenharia pode ter consequências difíceis de antever e de extrema gravidade [17], pois a história mostrou que mesmo um aparente benefício para o desenvolvimento económico (subentendido como benéfico para a humanidade) num determinado espaço e tempo, poderá ter consequências dramáticas e difíceis de resolver a longo prazo para a humanidade e meio ambiente.

A reflexão sobre o que será o “bem da humanidade”, ou o “bem comum”, pertence ao domínio da ética: é o seu principal foco [47]. Tendo em conta que a engenharia tem por papel concretizar o “bem da humanidade” ou bem comum, então a ética torna-se fundamental para

orientar a ação prática da engenharia [47]. Por outro lado, a dificuldade que em determinadas situações pode existir em conciliar valores técnico-económicos e éticos, acentua a necessidade da análise e fundamentação ética com vista à compreensão e ponderação dos valores antagónicos [2].

Nas conceções de engenharia apresentadas também sobressai a missão de promover o desenvolvimento económico [4]. Esta visão considera a engenharia enquanto um serviço à economia: diminuindo os custos de produção, produzindo inovação e bens tecnológicos comercializáveis, criando novos produtos e materiais que alimentem o mercado, criando novas formas de aumentar ou rentabilizar a extração/uso dos recursos naturais.

Perante as três facetas da missão/papel da engenharia (uso dos recursos naturais, desenvolvimento económico e “melhorar as condições de vida da humanidade” [17]), pode-se considerar que a missão será proporcionar o uso dos recursos naturais para “melhorar as condições de vida da humanidade” e/ou para a promoção do desenvolvimento económico, tal como ilustra a figura 2.1.

Tendo em conta que o objetivo último da engenharia é “melhorar as condições de vida da humanidade”, ainda que a sua ação seja considerada através da etapa intermédia do desenvolvimento económico, a engenharia não se pode desresponsabilizar face ao seu objetivo último [47]. Neste sentido, a engenharia não se pode desresponsabilizar pelo uso que a economia faz das suas criações tecnológicas [4] [44], devendo salvaguardar que contribuem para “melhorar as condições de vida da humanidade”, isto é, para o bem comum [47].

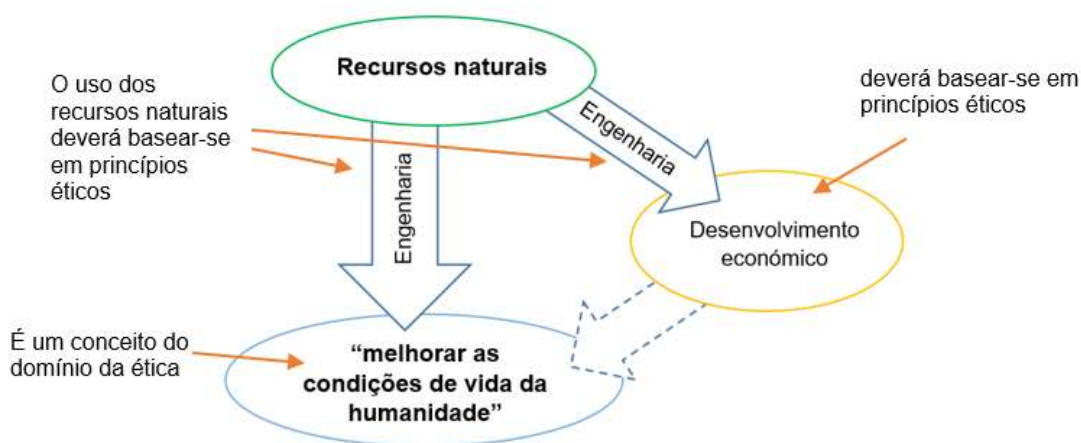


Figura 2.1-Síntese das conceções da missão/papel da engenharia e das suas dimensões éticas.

Existem visões do papel da engenharia em que esta tem apenas por objetivo o uso dos recursos naturais com vista à promoção do desenvolvimento económico [45] [4] [7]. Nesta visão, não estão presentes de forma explícita os objetivos de promover o “benefício dos seres humanos”, “o bem da humanidade”, a “satisfação dos desejos humanos”, a melhoria das

condições de vida da humanidade. O papel da engenharia, nesta visão, ocupa um lugar subalterno perante a economia e desresponsabiliza-se perante o uso que é feito das suas criações [6]. Para Dubreuil [7], esta visão é muito míope, uma vez que esconde aspetos que a contradizem: o desenvolvimento de artefactos tecnológicos está ao serviço da humanidade desde a origem da humanidade, mesmo na ausência de interesses económicos; a engenharia já esteve direccionada maioritariamente para o serviço a outras áreas, por exemplo, a militar [50]; a tecnologia que a engenharia cria com vista ao desenvolvimento económico, tem impactos que vão muito para além da economia (por exemplo, alteram os comportamentos sociais) que mostram como a ação da engenharia por si mesma tem um impacto na humanidade [44]. Para Smith [39], não há dúvidas sobre a relação entre a engenharia e o desenvolvimento económico, mas também entre a engenharia e as mudanças sociais e ambientais. Vários autores [47] [4] [7] [34] [22] [12] [51] alertam que esta relação entre a engenharia e a economia tem tido consequências catastróficas ao nível ambiental e consequências complexas, e ainda por compreender na sua totalidade, bem como ao nível social.

Moriarty [44] destaca que a engenharia ao longo da história tem continuamente prometido aliviar a carga de trabalho do ser humano através da tecnologia. Contudo, ao mesmo tempo que a tecnologia alivia o fardo das tarefas do dia a dia, também provoca o “disengagement”. A redução do envolvimento (“engagement”) do ser humano nas tarefas, nas relações inter e intrapessoais, na relação com os outros seres vivos, com o meio ambiente, com o seu contexto, com o conhecimento, resulta num grave e complexo empobrecimento do ser humano e do seu bem-estar, para além de ter efeitos perversos no meio físico e humano em que se insere [44]. Nesta perspetiva, para que a engenharia tenha, na prática, um papel maioritariamente positivo, é imprescindível a incorporação da dimensão ética no seu processo de criação tecnológica [44] [52].

Considerando que o objetivo/missão da engenharia é “melhorar as condições de vida da humanidade” (direta ou indiretamente), importa equacionar quais as ações mais comuns que se enquadram na prática da engenharia e como estas se relacionam com a necessidade de formação ética. Para Smith [39] e para Rodrigues [40] as principais ações dos profissionais da engenharia são:

- a investigação;
- o desenvolvimento/implementação (criar invenções/inovação);
- o projeto (de produção, de construção, da execução, da implementação, ...);
- a produção (gestão da produção, controlo, qualidade, ...);
- a operação e manutenção;
- a comercialização e vendas;
- a consultoria;
- a administração (definição de políticas, decisões, gestão).

Em todas as atividades referidas, a dimensão ética está subjacente e é imprescindível para que sejam executadas com vista ao bem comum. De todas as atividades da engenharia acima referidas, Smith [39] no seu livro “Engineering as a career”, destaca que um profissional da engenharia é essencialmente um decisor (“decision maker”).

2.2 - A dimensão ética das escolhas

Como já mencionado, a sociedade atual confia e depende da engenharia, pelo que a Ordem dos Engenheiros classifica a engenharia como uma profissão de “confiança pública” [17]. Isto significa que a sociedade confia nas escolhas e decisões dos profissionais da engenharia, até porque o cidadão comum não compreende os critérios e princípios científicos, técnicos e económicos nos quais os profissionais se baseiam para a tomada de decisões.

De acordo com Santos [53] e Taille [54], a ética só é necessária porque o ser humano é um ser social e vive em comunidade, por isso as suas ações e escolhas individuais e coletivas interferem diretamente e/ou indiretamente com outros seres humanos ou comunidades humanas. Em cada situação, e perante a existência de múltiplas possibilidades de ação, quer sejam relativas à relação com os outros, com objetos ou com a natureza, é necessário refletir sobre qual das escolhas fazer, e cada uma das escolhas feitas resulta do exercício do poder e da liberdade humana [37]. Assim, perante a existência de várias opções de escolha, Santos [53] destaca que o ser humano precisa “de pontos de orientação que lhe permitam encontrar um caminho (...) precisa de critérios de escolha que lhe permitam escolher certas ações em detrimento de outras”. Neste contexto enquadra-se a ética, que é entendida como a reflexão sobre os valores e os princípios [53] que devem orientar e fundamentar as escolhas, decisões e ações individuais e coletivas com o objetivo de se alcançar um desejável bem-estar individual e coletivo (bem comum) [54] [12] [55]. Assim, a ética deve estar na base da análise, reflexão e raciocínio que conduz à tomada de decisões, uma vez que o foco da ética é a resposta à pergunta “como é que eu devo agir e porquê?” [37] ou “que escolha eu devo fazer e porquê?”. A palavra ética deriva da palavra grega “ethos” que foi traduzida pelos Romanos para Latim, tendo dado origem à palavra moral, pelo que as duas palavras podem ser usadas como sinónimos [56]. No entanto, alguns autores usam a palavra moral para as normas sociais que orientam a ação dos indivíduos, tomando uma dimensão mais prática e focando-se em problemas concretos e nas decisões em cada situação; e a palavra ética é usada mais para a reflexão filosófica sobre a moral, sobre os princípios e valores que devem orientar as decisões [56]. Neste documento usam-se as duas palavras como sinónimos.

Também na engenharia, cada escolha e decisão envolve uma análise ponderada das vantagens e desvantagens (maior ou menor eficiência, maior ou menor custo...) de cada uma das potenciais opções (fazer ou não fazer uma certa ação, escolher entre o material A ou B,

etc.). Cada uma das vantagens ou desvantagens é ponderada em função de diferentes valorações de cada dimensão analisada (eficiência energética, custos, rentabilidade económica, impacto social, impacto ambiental...), logo em função de valores. Por isso, a tomada de decisões (individuais ou coletivas, como cidadão ou como profissional) enquadra-se no domínio da ética (dos valores).

Estas valorações são pesadas tendo em conta a sua contribuição para um conceito de bem-estar individual e coletivo considerado desejável [55]. Tal, pressupõe a existência de uma reflexão ética que justifique as características atribuídas a esse conceito de bem-estar (bem comum) [1] [12] [54] [55] que se deseja, e para o qual se espera contribuir com as ações e escolhas individuais. Por vezes, as escolhas são feitas sem que haja a consciência de contribuir para um certo conceito ideal do bem-estar coletivo, mas as decisões tomadas resultam sempre de uma apreciação de um futuro previsível e contribui sempre para reforçar uma certa visão do futuro desejável [1] [47].

Para Jonas [12], a reflexão e o raciocínio ético devem não só abranger as inter-relações entre os seres humanos que coexistem num determinado tempo, mas deve também abranger as relações com o meio ambiente, as outras espécies que habitam o planeta Terra e com as gerações vindouras. Nesta linha, a Ética da Responsabilidade (estruturada no livro “Ética para uma Sociedade Tecnológica” [12]) considera como prioritário aplicar a reflexão ética e promover a responsabilidade na atual criação e uso da tecnologia, uma vez que está em causa a limitação das opções de vida ou até a viabilidade das futuras gerações. Devido à gravidade da atual situação, Jonas [12] avisa que é imprescindível incorporar a reflexão ética consciente e esclarecida nas decisões associadas ao domínio tecnológico. Ainda nesta mesma linha, Jonhson [57] alerta que a “engineering is both a technical and a social endeavor; that engineers don’t just build things, they build society; (...) that engineering is an inherently ethical enterprise”.

Harris *et al.* [47] destacam que as ações/decisões da engenharia têm um impacto direto na vida de cada pessoa e da sociedade como um todo, bem como no meio ambiente. Para estes autores, na engenharia as escolhas são baseadas em critérios que são influenciados pelos valores da sociedade ou do meio em que os profissionais da engenharia se enquadram, mas a própria ação da engenharia influencia também esses valores [47]. Perante tal, alertam para a necessidade de ser assumida a dimensão ética da engenharia, bem como a necessidade de ser adotada uma atitude crítica e reflexiva para com a tecnologia e a ação da engenharia. Só assim se poderá orientar a ação da engenharia para o seu objetivo de promoção do bem comum e minimizar os efeitos nefastos que possam ser causados [47].

2.3 - A dimensão ética da atividade de projetar

O projeto é uma das atividades fundamentais e mais comuns entre os profissionais da engenharia [58], podendo envolver o projeto de produtos, construções, máquinas, sistemas, instalações ou artefactos tecnológicos.

Para Bentes, Costa e Almeida [6] a atividade de projetar está fortemente relacionada com a ética, uma vez que se baseia em escolhas feitas com vista a um determinado resultado que terá impacto na sociedade e no planeta Terra. Também Van Gorp e Van de Poel [58] defendem que a dimensão ética está fortemente presente em diversos aspetos da atividade de projetar:

- na formulação, especificação ou consideração dos requisitos do projeto;
- na escolha entre diferentes critérios ao longo do projeto e da sua negociação e renegociação com as várias partes envolvidas ou da adaptação ao longo do projeto, uma vez que projetar é um processo iterativo [59];
- na forma como as potenciais consequências (de segurança/risco, sociais, ambientais, económicas, comportamentais ...) do projeto para todos os que potencialmente poderão ser afetados, são ou não consideradas na fase de projeto;
- como são ou não considerados os valores (por exemplo, a rentabilidade, a produtividade, a segurança, a privacidade, a sustentabilidade ...) no desenvolvimento do projeto;
- que normas e legislação são consideradas no projeto [52] (por exemplo, se for feito o projeto de uma máquina que vai ser usada na Europa terão de ser usadas determinadas normas por imposição legal e para garantia de segurança; mas se a máquina foi encomendada por um país subdesenvolvido em que as normas de segurança ainda não estão estruturadas ou são menos exigentes, que normas considerar no projeto? As mais exigentes ou as menos exigentes?).

Van de Poel e Verbeek [60] defendem que a componente de reflexão ética explícita e consciente é fundamental para que a engenharia execute projetos mais responsáveis e benéficos para a sociedade. Para ajudar neste processo reflexivo foram desenvolvidos vários conceitos e metodologias (como, são exemplos a “chains of failure” [61], “structural secrecy” e “normalization of deviance” [62], “moral imagination” [63], “Value sensitive design” [64]).

O projeto sensível a valores (“Value sensitive design”) constitui uma conceção e fundamentação teórica, metodológica que fornece ferramentas práticas que facilitam a orientação dos projetos de engenharia para os valores éticos, para o respeito pelos direitos humanos, para a promoção da justiça e para a responsabilidade perante a sustentabilidade [65]. Para promover projetos responsáveis, é necessário integrar formação nos currículos dos cursos de engenharia que incluam conhecimentos sobre os valores e a ética, e os interliguem com a dimensão técnica dos cursos/áreas da engenharia, nomeadamente na prática do desenvolvimento de projetos [59] [65] [14].

Tendo em conta os impactos da tecnologia na sociedade, é função do ensino superior promover nos cursos de engenharia formação com vista ao desenvolvimento de projetos eticamente responsáveis e sensíveis aos valores, tal como Barendregt *et al.* [14] formulam: “Teachers in higher education who care about tomorrow’s society thus have an obligation to make students aware of their responsibility and impact as future practicing designers”. A formação ética com vista ao desenvolvimento de projetos responsáveis e promotores do bem comum, deve incidir sobre três pilares [14]: 1) a ética e os valores humanos; 2) as pessoas/sociedade e os diversos stakeholders; 3) a tecnologia e o seu contexto.

Vários autores desenvolveram ferramentas pedagógicas (nomeadamente jogos educativos) para incentivar ao desenvolvimento de projetos sensíveis aos valores [66] [67] [68] [69] [70] [71] [72]. No entanto, é necessário estudar como é que estas (ou outras) ferramentas podem ser integradas nos planos curriculares dos cursos de engenharia e aplicadas na prática das atividades de ensino/aprendizagem [14].

Moriarty [44] dedica o seu livro “The engineering project: its nature, ethics, and promise” à dimensão ética da atividade de projetar. Este autor enquadra os projetos da engenharia dentro da criação dos sistemas tecnológicos. Estes enquadram-se de forma mais abrangente nos sistemas que fazem parte do dia-a-dia das pessoas e da sociedade, tal como se ilustra na figura 2.2. Nesta imagem pode-se verificar que os projetos estão no centro de todo o contexto e foram colocadas setas indicando as complexas inter-relações que, por um lado, levam a que os projetos influenciem a vida das pessoas e, por outro lado, que a sociedade influencie os projetos.

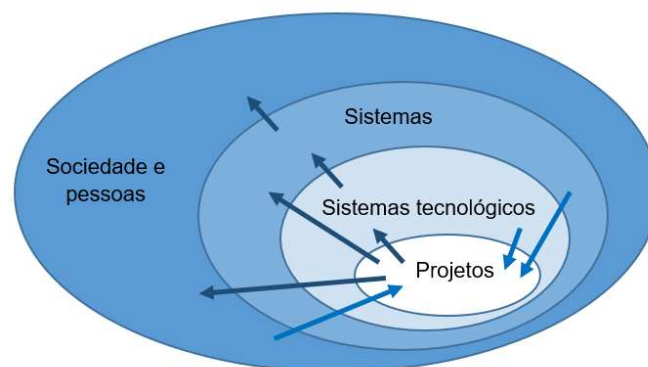


Figura 2.2 - Contexto dos projetos de engenharia adaptado de Moriarty [44], em que as setas foram acrescentadas para representar as inter-relações entre os diferentes níveis de influência e contexto.

A importância da figura 2.2 resulta do facto de que usualmente a atividade de projetar, quer no âmbito da prática profissional da engenharia, quer no âmbito académico, é feita de forma descontextualizada [44]. Deste modo, a atividade de projetar simplifica-se, uma vez que não tem em conta a complexidade da sua potencial influência na sociedade e nas pessoas [52], nem a influência de determinados sectores da sociedade no próprio projeto, e transforma-se

apenas numa sucessão de cálculos baseados em algoritmos. Assim, com esta simplificação, o projeto é desenvolvido apenas tendo em conta o sistema tecnológico no qual se pretende enquadrar de forma direta. Para solucionar este enviesamento da atividade de projetar, Moriarty [44] propõe uma nova perspetiva em que o projeto é também analisado e equacionado a partir do produto que se pretende obter, tendo em conta os valores éticos e o objetivo central da engenharia “melhorar as condições de vida da humanidade” [17] e respeitando o planeta Terra.

A reflexão sobre o trabalho dos profissionais da engenharia é feita por [73] ao questionar “What work do engineers do?”. A resposta reconhece que a engenharia é que constrói a sociedade contemporânea e o modo de vida das pessoas nas sociedades desenvolvidas, pois está presente em quase todas as atividades humanas, industriais e comerciais: “In fact, engineering is done not just for society but also for the world.” [73, p. 365]. Contudo, este autor destaca que a realidade mostra que continuam a ocorrer muitos acidentes ou efeitos nocivos em resultado da ação dos profissionais da engenharia, o que justifica a necessidade de formação ética em engenharia.

2.4 - Análise bibliométrica

Para identificar a importância atribuída na investigação científica à ética, foi feita uma pesquisa no Scopus das publicações sobre ética ou deontologia (ethics OR deontology). Foram identificados 1,585,567 documentos publicados desde 1850 até 2025. A distribuição destas publicações ao longo do tempo é apresentada na figura 2.3, mostrando que nos últimos anos ocorreu um exponencial aumento de publicações sobre ética ou deontologia. Este crescimento de publicações pode traduzir um aumento da preocupação ou do reconhecimento da importância da ética e da deontologia na sociedade contemporânea.

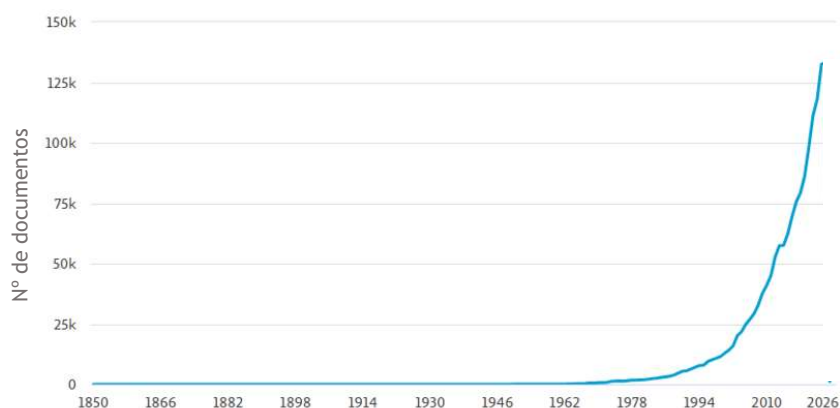


Figura 2.3- Número de publicações por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).

A distribuição do número de publicações pelos países indica que os EUA são o país que mais publica, seguido do Reino Unido, tal como mostra a figura 2.4.

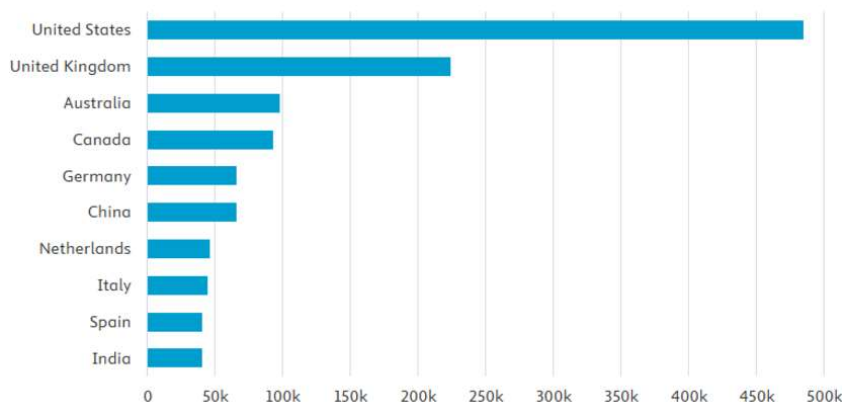


Figura 2.4 - Número de publicações por país com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).

A figura 2.5 mostra a distribuição das publicações por domínio de conhecimento, evidenciando que a engenharia apenas é responsável por 2,8% das publicações. Contudo, se à área da engenharia se somar as publicações da área das ciências da computação, obtém-se um total de 6,7% das publicações.

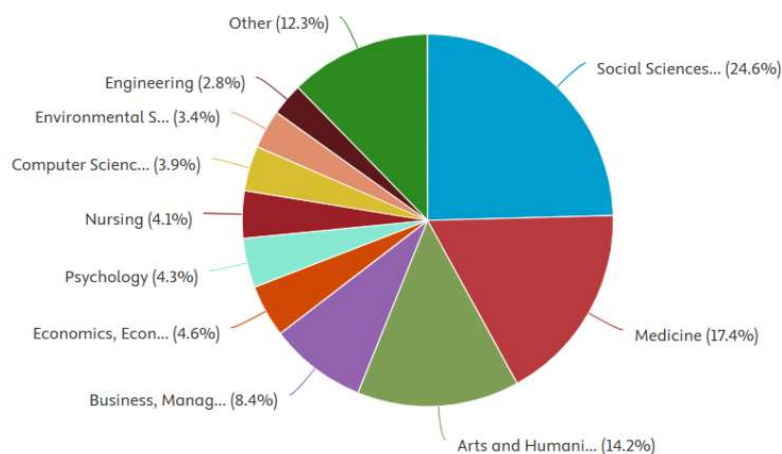


Figura 2.5- Percentagem de publicações por domínio de conhecimento com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).

Considerando as publicações em formato livro ou relatórios (ethics OR deontology) AND DOCTYPE (bk)) desde 1905 até 2026, constatou-se que só a partir de 2002 é que o número de livros nesta área aumentou (figura 2.6). Até essa data, o seu valor era residual. A figura 2.7 mostra que o crescimento das publicações depois de 2004 foi muito rápido e que para 2025 já haviam 24 livros previstos.

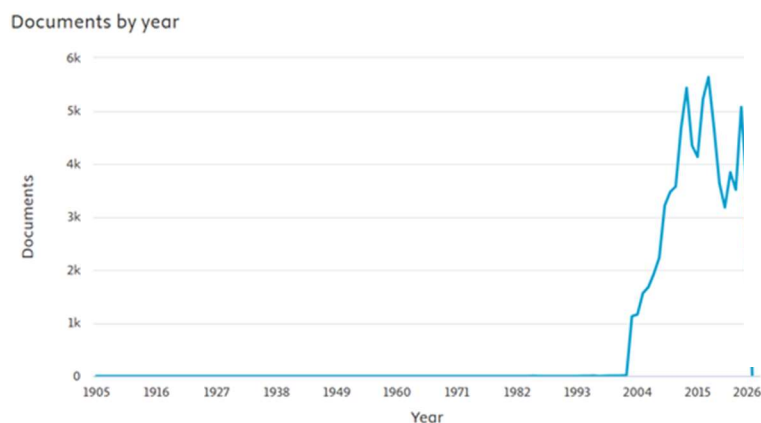


Figura 2.6 - Número de livros ou relatórios, desde 1905 até 2026, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).

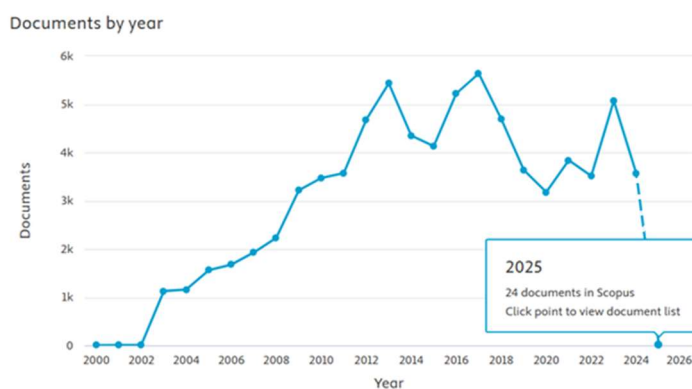


Figura 2.7 - Número de livros ou relatórios, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74], desde 2000 até 2025 (dados em novembro de 2024).

Ao limitar a área à engenharia (ethics OR deontology) AND DOCTYPE (bk) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")), constata-se que o número de publicações de livros também começou a crescer por volta de 2002 e que atualmente continua em grande crescimento, tal como mostra a figura 2.8.

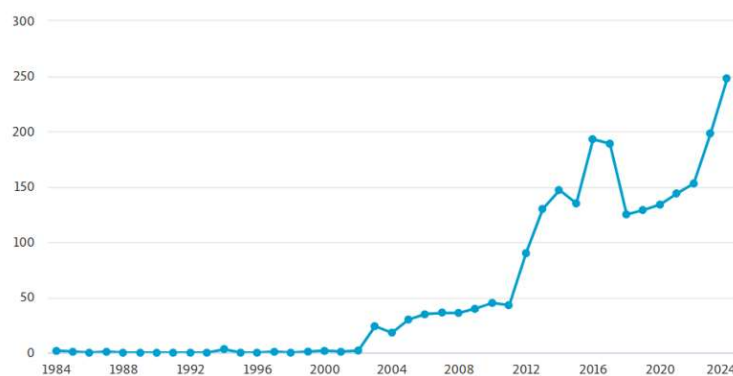


Figura 2.8 - Número de livros ou relatórios, limitados à área da engenharia, por ano com foco na ética ou deontologia resultantes de uma pesquisa no Scopus [74] (dados em novembro de 2024).

A figura 2.8 mostra que o tema da ética e deontologia na engenharia continua a ser alvo de muitas publicações, nomeadamente sob o formato de livro, o que indica uma grande valorização desta área e uma forte aposta na sua investigação e formação.

2.5 - A formação ética já está presente nos cursos de engenharia?

A nível internacional, a maioria dos países incentiva ou obriga a incluir esta componente de formação nos cursos de engenharia (são exemplo os EUA, Japão, Espanha, Malásia, Canadá, China, Suécia, Irlanda, África do Sul e França). No Japão, a formação ética faz parte dos cursos de engenharia desde os anos 90 do século XX, na Alemanha foi reconhecida a necessidade de formação ética desde 2002, no Canadá desde 2001, na Austrália desde 2010 e na Inglaterra desde 2010 [75]. Em Portugal, em 2002 a Ordem dos Engenheiros reconheceu como fundamental incluir formação ética e deontológica no acesso ao exercício da profissão [76], e a Ordem dos Engenheiros Técnicos também o fez em 2012 [77] [18].

A formação ética é uma condição de acreditação dos cursos de engenharia pela Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) nos Estados Unidos da América desde 2000 [78]. Como exemplos deste tipo de formação, refere-se a unidade curricular de “Ethics for Engineers” que está incorporada no curso de engenharia eletrotécnica (mas também é comum a outras engenharias) lecionado no MIT- Massachusetts Institute of Technology, que é uma das instituições de ensino superior mais prestigiadas a nível internacional na área das engenharias. Também o curso de engenharia eletrotécnica do North Central College incorpora uma unidade curricular de “Professional Ethics” e o mesmo curso na University of Central Missouri inclui uma unidade curricular de “Ethics and Professional Issues of the Construction Process”.

Um indicador da importância atribuída e da forte presença de formação ética a nível internacional é o elevado número de livros editados em língua inglesa para apoio a essa componente de formação nos cursos de engenharia [58]. Numa pesquisa exploratória (usando a plataforma B-on) encontraram-se dezenas de livros, dos quais se destacaram os 50 primeiros que se apresentam na tabela 2.1. Tão vasta bibliografia direccionada para a formação dos diplomados em engenharia, é um indicador do largo consenso e da importância da dimensão ética na formação dos diplomados em engenharia [58].

Foram também identificados dois livros editados em Portugal e destinados à formação ética de estudantes de engenharia:

- o livro “Ética para Engenheiros” de Arménio Rego e Jorge Braga, já na sua 4ª edição [2] é especificamente destinado à formação dos estudantes de engenharia e versa

a dimensão ética do exercício profissional da engenharia centrada no domínio da micro ética (relativa às ações individuais);

- o livro “Ética em Investigação Científica” de Luís Adriano Oliveira [79] embora não se centre na ética aplicada ao exercício profissional da engenharia, nem se destine apenas a estudantes de engenharia, tem também servido de base à formação ética dos estudantes dos cursos de engenharia de diversas instituições, especialmente no âmbito da pesquisa feita em unidades curriculares de Projeto ou no desenvolvimento de teses ou dissertações.

Também foi publicado o livro “Ética Aplicada - Investigação Científica: Ética Aplicada Vol.XII” coordenado por Maria do Céu Patrão Neves e Maria da Graça Carvalho [80] que é dirigido para a investigação aplicada, na qual se enquadra a investigação em engenharia.

Existe ainda um manual de formação intitulado “Ética e Deontologia” da autoria de Carlos Carapeto e Fátima Fonseca que está disponível online no site da Ordem dos Engenheiros Técnicos [77].

Em Portugal, o estudo de Monteiro [37], mostra que a formação ética já está presente em alguns dos cursos de engenharia, mas que ainda não está presente de forma generalizada. Na tabela 2.2 apresentam-se alguns dos resultados obtidos por Monteiro, Leite e Rocha [42], evidenciando a percentagem dos cursos de engenharia portugueses (do ensino público e não militar) que incluíam formação ética nos planos curriculares em 2015/2016. Apesar dos valores indicados na tabela 2.2, o estudo concluiu que em vários casos, a formação ética incluída é ainda residual ou se limita a aspetos normativos, como é exemplo a sensibilização e prevenção da fraude académica [42].

Na tabela 2.3 apresentam-se as percentagens dos cursos que incluíam formação ética explícita nos seus planos curriculares em 2015/2016, por área do curso [81]. De entre os cursos incluídos na tabela 2.3, destacam-se com maior percentagem os cursos tradicionalmente mais escolhidos por mulheres (engenharia química, biológica, biomédica e ambiental). Destaca-se também a engenharia eletrotécnica por ser o curso com menor percentagem.

Tendo em conta que desde 2015/2016 podem ter ocorrido alterações nos cursos de engenharia, tornou-se relevante analisar se a presença de formação ética nos cursos de engenharia terá sido alterada de forma significativa, nomeadamente nos cursos de engenharia eletrotécnica.

Tabela 2.1 - Listagem de livros publicados em língua inglesa, direcionados para a formação ética dos estudantes e profissionais da engenharia.

Título	Autores	Ano
Engineering Ethics: Concepts and Cases (6ªed)	Jr. Charles E. Harris, Michael S. Pritchard	2018
Engineering Ethics: Contemporary and Enduring Debates	Deborah G. Johnson	2020
Engineering Ethics: Real World Case Studies	Steven K. Starrett, Amy L. Lara, et ál.	2017
Introduction to Engineering Ethics (Basic Engineering Series and Tools)	Mike Martin y Roland Schinzinger	2009
Ethics for Engineers	Martin Peterson	2019
Ethics Within Engineering: An Introduction	Wade L. Robison	2016
Ethics in Engineering	Mike W. Martin y Roland Schinzinger	2004
Right/Wrong: How Technology Transforms Our Ethics	Juan Enriquez	2020
Engineering Ethics and Design for Product Safety	Kenneth L. d'Entremont	2020
Ethics and Engineering: An Introduction (Cambridge Applied Ethics)	Behnam Taebi	2021
Engineering Ethics: Peace, Justice, and the Earth, (Synthesis Lectures on Engineers, Technology and Society)	George D. Catalano	2014
Controlling Technology: Ethics & The Responsible Engineer: Global Engineering Ethics	Stephen H. Unger y Donald N.S. Unger	2017
Ethics in Information Technology	Heinz Luegenbiehl y Rockwell Clancy	2017
Engineering Ethics (Esource)	George Reynolds	2018
The Ethics of Cybersecurity (The International Library of Ethics, Law and Technology Book 21)	Charles Fleddermann	2011
Engineering Ethics: An Industrial Perspective	Markus Christen, Bert Gordijn, et ál.	2020
Next-Generation Ethics: Engineering a Better Society	Gail Baura	2006
Ethics, Technology, and Engineering: An Introduction	Ali E. Abbas	2019
Thinking Like an Engineer: Studies in the Ethics of a Profession (Practical and Professional Ethics)	Ibo van de Poel y Lamber Royakkers	2011
Biomedical Ethics for Engineers: Ethics and Decision Making in Biomedical and Biosystem Engineering	Michael Davis	1998
Introduction to Engineering Research (Synthesis Lectures on Engineering, Science, and Technology)	Daniel A. Vallero	2007
Engineering and Society: Working Towards Social Justice (Synthesis Lectures on Engineers, Technology, and Society)	Wendy Crone	2020
Engineering and Philosophy: Reimagining Technology and Social Progress (Philosophy of Engineering and Technology Book 37)	Caroline Baillie y George Catalano	2009
Society, Ethics, and Technology	Zachary Pirtle, David Tomblin, et ál.	2021
An Introduction to Ethics in Robotics and AI (SpringerBriefs in Ethics)	Morton Winston y Ralph Edelbach	2013
The Ethics of Technology: Methods and Approaches (Philosophy, Technology, and Society)	Christoph Bartneck , Christoph Lütge	2020
Engineering as a Global Profession: Technical and Ethical Standards	Sven Ove Hansson	2017
Beyond the Code: A Philosophical Guide to Engineering Ethics	Michael Davis	2021
Ethics in Engineering (GENERAL ENGINEERING)	Heidi Furey, Scott Hill	2021
The Future of Engineering: Philosophical Foundations, Ethical Problems and Application Cases	Mike Marti	2004
Engineering Ethics: Concepts And Cases, 4Ed	Albrecht Fritzsche, Sascha Julian Oks	2018
The Ethics of Invention: Technology and the Human Future	CENGAGE INDIA	2012
Technoethics and the Evolving Knowledge Society: Ethical Issues in Technological Design, Research, Development, and Innovation	Sheila Jasanoff	2016
Ethics in Computing, Science, and Engineering: A Student's Guide to Doing Things Right	Rocci Luppicini	2010
Ethics for Bioengineers (Synthesis Lectures on Biomedical Engineering)	Barry G. Blundell	2020
Lessons amid the Rubble: An Introduction to Post-Disaster Engineering and Ethics	Monique Frize	2011
Ethics, Politics, and Whistleblowing in Engineering	Sarah K. A. Pfatteicher	2010
Engineering and War: Militarism, Ethics, Institutions, Alternatives (Synthesis Lectures on Engineers, Technology, and Society)	Rania Milleron, Nicholas Sakellariou	2018
The Engineering Project: Its Nature, Ethics, and Promise	Ethan Blue , Michael Levine, & 1 mais	2013
Engineering, Business and Professional Ethics	Gene Moriarty	2018
Designer Biology: The Ethics of Intensively Engineering Biological and Ecological Systems	Simon Robinson	2007
Ethics Within Engineering: An Introduction	Ronald Sandler	2015
Technology 2e: Ethics and the Responsible Engineer	Wade L. Robison	2016
Engineer's Toolkit: A First Course in Engineering	Stephen H. Unger	1994
Ethical Engineering for International Development and Environmental Sustainability	Mitcham Carl, Duval R.	2000
Roboethics: A Navigating Overview: 79 (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering)	Marion Hersh	2016
Professional Ethics in Engineering	Spyros G. G. Tzafestas	2016
Engineering Ethics: Concepts and Cases	Venkateshwaran Narayanaswamy	2018
Engineering Ethics: Challenges and Opportunities	Ray James, Michael J. Rabins , & 3 mais	2018
	W. Richard Richard Bowen	2016

Tabela 2.2 - Percentagem dos cursos de engenharia portugueses (ensino público não militar) que incluíam formação ética nos planos curriculares de 2015/2016 [42].

Cursos de Engenharia	Presença de formação ética	
	Universidades	Politécnico
Licenciaturas	30%	10%
Mestrados Integrados	57%	-
N.º Total de Licenciaturas	40	86
N.º Total de Mestrados Integrados	58	-

Tabela 2.3 - Percentagem dos cursos de engenharia portugueses (ensino público não militar) que incluíam formação ética nos planos curriculares de 2015/2016 [81], em função da área dos cursos.

Áreas da engenharia	% do total de cursos
Engenharia Informática	29,00
Engenharia Mecânica	44,44
Engenharia Química	67,00
Engenharia Civil	25,00
Engenharia Eletrotécnica	11,53
Engenharia Biológica	67,00
Engenharia Ambiental	40,00
Engenharia Biomédica	37,50
Engenharia e Gestão Industrial	33,30

2.6 - A formação ética já está presente nos cursos de engenharia eletrotécnica?

Os dados da tabela 2.3 são indicadores de fraca presença de formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica, o que despertou a motivação para o presente trabalho de investigação. Tendo em conta que os dados apresentados na tabela 2.3 são relativos a 2015/2016, foi feito um novo estudo sobre a presença de formação ética explícita nos cursos de engenharia eletrotécnica. Desde 2015/2016 ocorreram importantes mudanças nos planos curriculares de vários cursos e com este estudo pretendeu-se saber se tais mudanças alteraram a presença de formação ética explícita nos cursos de engenharia eletrotécnica.

Neste estudo, entende-se por formação ética explícita a formação ética que consta dos conteúdos programáticos de alguma unidade curricular (e por isso também faz parte intencional do plano curricular do curso), que pretende alcançar objetivos e desenvolver competências específicas do domínio da ética relacionada com a engenharia e o seu exercício profissional; e que tem uma presença relevante na unidade curricular. Isto é, exclui-se a formação ética que os docentes eventualmente façam espontaneamente, de forma oral e não estruturada nem planeada, e que por ser espontânea ou de iniciativa individual não está explícita nos objetivos ou conteúdos da unidade curricular.

Em complemento, pretendeu-se também averiguar a valorização atribuída à formação ética do ponto de vista da apresentação formal e oficial dos cursos (objetivos, competências, saídas profissionais) que é disponibilizada nos sítios oficiais de cada curso. Este estudo baseou-se no princípio de que as instituições tendem a disponibilizar nos seus sítios oficiais as características que mais valorizam nos cursos, que os diferenciam de instituições concorrentes, que garantem mais empregabilidade, ou que consideram que os potenciais candidatos valorizam [82]. A informação disponibilizada reflete visões do papel da engenharia e dos seus profissionais na sociedade que podem ser mais ou menos ajustadas aos objetivos oficiais da engenharia, por exemplo, definidos pelas ordens profissionais; bem como a importância que atribuem à dimensão ética da engenharia.

O estudo constante neste ponto deu origem ao artigo: Monteiro, F., and Sousa, A. (2022). Evolution of the presence of ethical education in electrical engineering programs in Portugal. In INTED2022 Proceedings (pp. 5499-5505). IATED.

2.6.1 - Metodologia específica

Do ponto de vista metodológico foi feita uma análise documental da informação e documentos disponíveis online nos sítios oficiais das diversas instituições de ensino superior portuguesas. Em cada instituição foi verificado se lecionava algum curso de engenharia eletrotécnica (Licenciatura e/ou Mestrado Integrado) e posteriormente foi recolhida a informação sobre os objetivos, competências, empregabilidade, plano curricular, no caso de tal informação estar disponível. Para cada curso, e quando disponível, foram consultadas a Ficha de Unidade Curricular de cada unidade curricular com o objetivo de identificar alguma referência a competências, objetivos ou conteúdos do domínio da formação ética. No caso de tal referência ser encontrada, foi feita a recolha e análise da respetiva Ficha de Unidade Curricular. Foram excluídos os cursos que na sua designação não incorporavam os termos “Engenharia Eletrotécnica” (por exemplo, os cursos de Engenharia Eletrónica e de Telecomunicações foram excluídos). Os dados foram recolhidos no 1º trimestre de 2021 (relativo aos planos de 2020/2021), pelo que ainda reportam a Mestrados Integrados em algumas Universidades.

Após a recolha dos planos, foi feita uma análise com o objetivo de identificar as unidades curriculares que potencialmente poderiam incluir formação ética explícita, isto é, as unidades curriculares que não tivessem um carácter técnico-científico específico. Por exemplo, a unidade curricular de “Análise Matemática” foi considerada como tendo um carácter técnico-científico específico e, por isso, como não sendo expectável que incluísse formação ética explícita e definida nos seus conteúdos.

O estudo abrangeu 27 instituições de ensino superior público (não militar). Destas, 11 não lecionam cursos de engenharia eletrotécnica. As tabelas 2.4 e 2.5 descrevem as instituições

analisadas por subsistema de ensino. A Universidade de Aveiro e a Universidade do Algarve foram analisadas na sua vertente de ensino universitário e na vertente de ensino politécnico, uma vez que possuem cursos nos dois subsistemas.

Nas tabelas 2.4 e 2.5 as siglas correspondem a: LEE - Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica; LEEC - Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores; LEET - Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e Telecomunicações; SEE - Sistemas de Energia Elétrica; IP - Instituto Politécnico; U. - Universidade; MIEEC - Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

2.6.2 - Presença de formação ética explícita nos cursos de engenharia eletrotécnica

A tabela 2.4 apresenta os resultados obtidos para os cursos enquadrados no ensino politécnico, incluindo a informação sobre os cursos e as unidades curriculares em que foi identificada alguma referência à ética.

Da análise da tabela 2.4 destaca-se que apenas 2 dos 13 cursos de licenciatura em engenharia eletrotécnica lecionados por instituições com/de ensino politécnico incluíam formação ética explícita nos seus planos curriculares, ainda que esta estivesse incorporada em unidades curriculares que não eram exclusivamente dedicadas a este domínio de formação. Por exemplo, no caso da LEE lecionada no IP Coimbra à data do estudo, esta componente estava incorporada numa unidade curricular (“Aplicacionais para a Engenharia”) com conteúdos técnicos (desenho técnico) e transversais (comunicação oral e escrita), correspondendo a cerca de 1/6 da unidade curricular.

Tabela 2.4 - Sumário das instituições de ensino superior politécnico analisadas indicando as que lecionavam cursos de engenharia eletrotécnica. Se incluíam formação ética explícita na ficha de unidade curricular indica-se a respetiva unidade curricular (dados de 2020/2021).

Ensino Politécnico	Licenciatura em engenharia eletrotécnica	UC que possui referência a formação ética
IP Bragança	LEEC	Projeto
IP Beja	-	-
IP Cávado e Ave	LEEC	-
IP Castelo Branco	LEET	-
IP Coimbra	LEE	Aplicacionais para a Engenharia
IP Guarda	-	-
IP Leiria	LEEC	-
IP Lisboa	LEE	-
IP Portalegre	-	-
IP Porto	LEEC	-
	LEE-SEE	-
IP Santarém	-	-
IP Setúbal	LEEC	-
IP Tomar	LEEC	-
IP Viana Castelo	-	-
IP Viseu	LEE	-
U. Algarve (politécnico)	LEEC	-
U. Aveiro (politécnico)	LEE (não abriu vagas em 2020/2021)	-

Na análise da LEEC do IP Porto foi identificada a unidade curricular de “Projeto de Engenharia em Eletrotecnia” do 1ºano, 1ºsemestre que tinha por objetivos integrar os estudantes, dar a conhecer a instituição (ISEP), os seus serviços e regulamentos e promover o desenvolvimento de “soft skills”, especialmente de comunicação oral e escrita. No programa previsto, são referidos 7 pontos, em que o sétimo é “Ética e plágio”. Os restantes pontos estão associados, na sua maioria, com a escrita de relatórios e as normas de referência. Perante esta análise, considerou-se que a referência à ética que era feita nesta unidade curricular, é meramente normativa (para prevenção e dissuasão de plágio), pelo que não constitui formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia. Assim, esta unidade curricular não foi contabilizada na tabela 2.4.

Outro dado que resultou da análise dos planos curriculares é que apenas 2 cursos têm unidades curriculares cujo conteúdo se foca na sustentabilidade (LEE-SEE do IP Porto e LEEC do IP Cávado e Ave). Tendo em conta que atualmente existe um grande consenso que a sustentabilidade é um dos mais importantes problemas/desafios que a humanidade enfrenta [12], e que a engenharia tem por objetivo solucionar os problemas da humanidade [17] [47], a aparente reduzida presença deste assunto nos planos curriculares dos cursos de engenharia eletrotécnica desperta interessantes questões para futura investigação.

Tabela 2.5 - Sumário das instituições de ensino superior universitário analisadas indicando as que lecionavam cursos de engenharia eletrotécnica. Se incluíam formação ética explícita na ficha de unidade curricular indica-se a respetiva unidade curricular (dados de 2020/2021).

Ensino Universitário	Licenciatura ou Mestrado Integrado em engenharia eletrotécnica	UC que possui referência a formação ética
U. Açores	-	-
U. Algarve	-	-
U. Aveiro	-	-
U. Beira Interior	LEEC	-
U. Coimbra	MIEEC	Competências Transversais para a Engenharia
U. Évora	-	-
U. Lisboa	MIEEC	-
U. Madeira	-	-
U. Minho	-	-
U. Nova Lisboa	MIEEC	Competências Transversais para a Ciência e Tecnologia
		Ciência, Tecnologia e Sociedade
U. Porto	MIEEC	-
UTAD	MIEEC	-

No caso do ensino universitário (tabela 2.5), constata-se que existe formação ética explícita nos planos curriculares de 2 dos 5 cursos de Mestrado Integrado em engenharia eletrotécnica. No caso do MIEEC da U. Porto havia uma referência à ética na unidade curricular de “Projeto FEUP”, mas tal não foi considerado como formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia, uma vez que correspondia apenas a uma breve referência numa grande listagem de conteúdos previstos para a unidade curricular, e apenas é relativa ao plágio e fraude

académica e com o objetivo do seu desincentivo. Todavia, destaca-se que um dos cursos (MIEEC da U. Nova Lisboa) incluía 2 unidades curriculares que faziam referência à ética.

De uma forma global, 40% dos Mestrados Integrados e 14% das Licenciaturas apresentavam alguma referência à ética explícita nos seus planos curriculares. Numa média global, 21% dos cursos em engenharia eletrotécnica incluíam nos seus planos curriculares alguma referência a formação ética, considerando os dados relativos ao ano 2020/2021. Comparando com os dados de 2015/2016 [81], constatou-se um aumento da presença desta componente de formação, apesar de ainda estar presente numa minoria dos cursos. Para monitorizar a evolução da incorporação de formação ética nos cursos de engenharia será necessário continuar a estudar os novos planos curriculares dos cursos ao longo do tempo.

A análise das Fichas de Unidade Curricular de cada uma das unidades curriculares identificadas com referência à ética, incluídas nas tabelas 2.4 e 2.5, permitiu recolher a seguinte informação:

- Unidade curricular anual de “Projeto” do 3ºano da LEEC do IP Bragança: Segundo a informação da unidade curricular disponível online [83], o resumo dos resultados de aprendizagem refere “d) recolher, selecionar e interpretar a informação relevante, que habilite a fundamentar as soluções preconizadas e os juízos emitidos, incluindo na análise os aspetos sociais, científicos e éticos relevantes;”. Nas competências refere “Identificar e aplicar as questões éticas, deontológicas e normativas/regulamentares/etc associadas à prática profissional.”. Contudo, a Ficha de Unidade Curricular não apresenta os conteúdos nem bibliografia. Quanto aos métodos de ensino e aprendizagem, a Ficha de Unidade Curricular refere que “A metodologia de aprendizagem é baseada na realização de projeto/trabalho/estágio, o qual deve ser suficientemente integrador e abrangente, e partindo da sua especificação detalhada, são desenvolvidas sessões do tipo PL, TC, S, E, OT que permitem aos alunos ter apoio e aprender os conteúdos programáticos que deverão dotá-los dos resultados da aprendizagem e competências esperadas ou expectáveis.”. Perante tal, pouco se pode concluir sobre se esta unidade curricular inclui de facto formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia, uma vez que não são descritos conteúdos, nem ferramentas pedagógicas, nem metodologias de avaliação (seja formativa ou sumativa) com vista a esse processo de aprendizagem. Trata-se, de acordo com a metodologia de aprendizagem referida, de uma unidade curricular de projeto ou estágio sem conteúdos prévios definidos.
- Unidade curricular de “Aplicacionais para a Engenharia” do 1ºano, 1ºsemestre da LEE do IP Coimbra: Segundo a informação da unidade curricular disponível online [84], os resultados de aprendizagem, previstos são: “desenvolver aptidões sociais e de trabalho em equipa; desenvolver aptidões de comunicação oral e escrita;

conhecer os princípios éticos e deontológicos que estão definidos nos Códigos Deontológicos Profissionais da área da Engenharia; desenvolver aptidões de análise ética e deontológica; conhecer, interpretar e executar desenhos técnicos; conhecer e saber usar ferramenta computacional de desenho assistido por computador”. Ao nível dos conteúdos previstos, refere “Comunicação oral e escrita científica: relatórios e apresentações orais; Ética e deontologia; Princípios éticos e deontológicos que estão definidos nos Códigos Deontológicos Profissionais da área da Engenharia; A análise ética e deontológica; Desenho técnico; Estudo das principais ferramentas do AutoCad; Aplicações práticas: desenhar com o AutoCad - Realização de documentos técnicos”. Nesta listagem de conteúdos destaca-se que os conteúdos relativos à formação ética, correspondendo a cerca de 1/6 das horas atribuídas a esta unidade curricular, uma vez que o foco principal é o desenho técnico (2/3 do tempo previsto). Na bibliografia destaca-se o livro: *Ética para Engenheiros* (4ª Edição) de A. Rego e J. Braga [2] Edições Lidel, ISBN: 9789897522635.

- Unidade curricular de “Competências Transversais para a Engenharia” do MIEEC da U. Coimbra: de acordo com a informação disponível online [85], os objetivos referem que se pretende “motivar os estudantes a encarar a sua formação universitária na perspetiva do mercado de trabalho da engenharia eletrotécnica e de Computadores. Pretende-se dotar os estudantes de algumas competências transversais relevantes para o percurso académico”. O programa previsto inclui “1. Introdução às grandes áreas de intervenção da engenharia eletrotécnica e de Computadores; 2. Comunicação em Ciências e Tecnologias (Relatórios); 3. Pesquisa bibliográfica e análise de Informação em Ciência e Tecnologia; 4. Gestão do tempo - Trabalho em Equipa; 5. Ética na profissão de engenheiro”. A bibliografia sugerida inclui o livro “Rego, A. e Braga, J. (2014). *Ética para Engenheiros*. Edições Lidel” [2].
- Unidade curricular de “Competências Transversais para Ciências e Tecnologia” do 1º ano do 1º semestre do MIEEC da UNLisboa: de acordo com a informação disponível online [86], nos seus conteúdos descreve 52 pontos agrupados em 4 grandes grupos: “1 - Planeamento Curricular para a Empregabilidade; 2 - Gestão do Tempo, Trabalho em Equipa e Liderança; 3 - Utilização avançada de Folhas de Cálculo; 4 - Pesquisa Bibliográfica. Análise de Informação. Ética e Deontologia”. O 4º grupo temático (“Pesquisa Bibliográfica. Análise de Informação. Ética e Deontologia”) descreve 19 pontos, dentre os quais “Conceito de plágio. Formas comuns de plágio, possíveis motivos e como evitar. Formas de deteção de plágio. Deteção de passagens que configuram situação de plágio através do software Ephorus. Conceitos de Moral, Ética e Deontologia. Exemplos de Ética em Ciência e de Deontologia no

desempenho profissional. O Plágio e a Fraude no Regulamento de Avaliação da FCT/UNL. Os deveres e o dilema no desempenho profissional.”. A análise feita permite concluir que o foco atribuído à formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia é muito residual, uma vez que a ética que é referida no 4º grupo dos conteúdos é maioritariamente centrada no plágio no ambiente académico, e apenas 3 dos 52 pontos totais do programa se enquadram potencialmente na formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia. Na bibliografia é referido: “Costa, R., Kullberg, J., Fonseca, J., Martins; N., “Competências Transversais para Ciências e Tecnologia - FCT/UNL” (2013)”. Tendo em conta esta análise, considerou-se que esta unidade curricular apesar de referir a formação ética com vista ao exercício profissional da engenharia, apenas a aborda de forma breve.

- Unidade curricular de “Ciência, Tecnologia e Sociedade” do 2ºano, 1ºsemestre do MIEEC da U. Nova Lisboa: Segundo a informação da unidade curricular disponível online [87], os objetivos desta unidade curricular são “(i) levar os alunos a interrogarem-se sobre a natureza e a extensão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade no mundo atual; (ii) catalisar a reflexão crítica dos alunos sobre a sua futura experiência profissional e de cidadania; (iii) aumentar a capacidade de decisão e adaptação dos alunos num mundo em mudança.”. Os conhecimentos proporcionados são “compreender a estrutura da tecnociência e sua relação com os contextos económico, político, social e cultural; dominar conceitos fundamentais para a análise das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade”, e as competências desenvolvidas são “perspetivar o relacionamento entre ciência e a tecnologia e sociedade; construir uma memória crítica sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade europeia; desenvolver o sentido de ética e responsabilidade social do cientista e do engenheiro; relacionar a prática profissional com a prática de uma cidadania crítica e consciente.”. Esta unidade curricular está subdividida em 4 módulos (“Globalização e Desafios Climáticos”, “Mobilidade e Justiça”, “Cibersegurança” e “Melhoramento Humano/ Human Enhancement”) e cada aluno inscreve-se apenas num destes módulos. Apesar de todos estes módulos serem passíveis de se interligarem com a dimensão ética da ação da engenharia, é o módulo “Melhoramento Humano/ Human Enhancement” que refere a ética: “Este módulo pretende abordar e debater as implicações sociais e éticas das novas tecnologias de “melhoramento” humano, bem como perspetivar o papel da ciência e da tecnologia na construção do futuro.”. Quer os objetivos, quer os 4 módulos definidos estão potencialmente em linha com o desenvolvimento de uma das dimensões considerada importante na formação ética com vista à

prática profissional de engenharia eticamente responsável, o desenvolvimento de uma atitude reflexiva e crítica para com a tecnologia [47].

Apesar de terem sido identificadas 5 unidades curriculares que referem ética nos seus conteúdos, a análise às informações mais detalhadas (disponíveis online) permitiu concluir que apenas uma é inteiramente dedicada a uma dimensão da formação ética (“Ciência, Tecnologia e Sociedade”), sendo que as restantes se dedicam a muitos outros tópicos de formação, reservando um lugar residual à ética, o que é incompatível com uma sólida formação ética.

2.6.3 - Valorização atribuída à formação ética do ponto de vista da apresentação formal e oficial dos cursos

Com o objetivo de indagar a importância atribuída à dimensão ética da engenharia e à formação ética dos estudantes de engenharia, foram analisados os objetivos e a descrição de apresentação dos 19 cursos de engenharia eletrotécnica existentes em Portugal. Nesta análise procurou-se identificar referências à formação ética ou à dimensão ética da engenharia. Desta análise identificaram-se as seguintes referências:

- objetivos definidos no sítio oficial [88] para o curso de LEET do Instituto Politécnico de Castelo Branco: “Formação de Engenheiros com competências sólidas na área de Eletrónica, Redes e Telecomunicações que lhes possibilitem um bom desempenho profissional nas áreas de projeto e manutenção de sistemas envolvendo os domínios referidos. (...) Formação orientada de acordo com princípios éticos e profissionais de rigor, de competência técnica, de polivalência, de facilidade de adaptação, de trabalho em equipa em áreas multidisciplinares e capacidade de organização, de liderança, empreendedorismo e conhecimento do mercado.”. No entanto, o plano curricular não apresenta nenhuma unidade curricular com referência explícita à ética ou a qualquer outra formação que não fosse do âmbito técnico-científico.
- as competências definidas no sítio oficial [89] do curso de LEE do Instituto Politécnico de Coimbra referem que “o plano de estudos da LEE permite aos alunos desenvolver e demonstrar conhecimento nas seguintes áreas: (...) Responsabilidades profissionais e éticas do Engenheiro; Impacto das soluções de engenharia num contexto global.”. Este curso inclui no seu plano curricular uma unidade curricular (“Aplicacionais para a Engenharia”) que inclui referência à dimensão ética da engenharia.
- os objetivos apresentados no sítio oficial [90] do curso de LEEC do Instituto Politécnico de Leiria referem “formar profissionais com elevada qualidade técnica, científica, ética e profissional, com capacidade de inovação, desenvolvimento e

empreendedorismo, capazes de responderem ativamente às solicitações apresentadas pelos modernos equipamentos e pelas novas tecnologias usadas em diferentes sectores da atividade empresarial.”. Apesar dos objetivos fazerem referência explícita à ética, na análise feita ao plano curricular não foi identificada nenhuma unidade curricular nesse domínio ou a qualquer outra formação que não fosse do âmbito técnico-científico.

- As competências descritas no sítio oficial [91] do curso de LEEC da Universidade Beira Interior incluem “Demonstrar pensamento crítico e compromisso ético”. Nas saídas profissionais é dado destaque à responsabilidade: “Os Licenciados em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores têm excelentes perspetivas de futuro no desempenho de funções diversificadas de elevado prestígio e responsabilidade tanto no mundo Empresarial como Académico, nacionais ou internacionais.”. Contudo não foi identificada nenhuma unidade curricular do plano curricular com formação no domínio da ética.
- Os objetivos disponíveis no sítio oficial [92] do curso de MIEEC da Universidade de Coimbra incluem “a formação de profissionais com um elevado nível de qualidade técnica, científica e ética, capazes de responder às necessidades de modernização da economia à escala Global no domínio da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores e em particular nas áreas de especialidade de Automação, Energia, Computadores e Telecomunicações;”. O plano curricular deste curso inclui uma unidade curricular (“Competências Transversais para a Engenharia”) com referência à dimensão ética da engenharia.

Os resultados indicam que só 5 das apresentações oficiais (constantes online nos sítios oficiais) dos 19 cursos é que fazem referência à formação ética, à importância da ética na prática profissionais da engenharia ou à ética como uma competência necessária aos engenheiros/as. Também se destaca a existência de algumas situações de incoerência, em que na apresentação dos cursos é referida a dimensão ética, mas os planos curriculares não incorporam explicitamente este domínio de formação. Estes resultados são um indicador de que esta dimensão da formação ainda não é valorizada, por parte das instituições, na maior parte dos cursos analisados. Contudo, o facto de existirem casos de referência explícita à ética na apresentação dos cursos e/ou estes incluírem unidades curriculares com referência à ética, é já um indicador da mudança que está a ocorrer em Portugal na conceção da engenharia e da tomada de consciência da importância da formação ética no exercício profissional da engenharia.

Apesar da importância de incluir formação ética nos cursos de engenharia ser de grande consenso [93] [94] [95] [96], o estudo descrito no presente ponto mostrou que esta componente

de formação ainda está ausente da maioria dos cursos de engenharia eletrotécnica em Portugal. Este facto fundamenta a importância do presente trabalho de investigação.

2.7 - Discussão das razões para a formação ética ainda estar pouco presente nos cursos de engenharia

No presente ponto serão apresentadas as principais razões para que a formação ética tenha ao longo da história estado ausente da formação em engenharia. Para melhor compreensão, importa lembrar que historicamente a formação em engenharia começou por ser essencialmente prática, em que os formandos eram aprendizes de profissionais mais velhos, tal como noutras profissões. Os “engenheiros” eram considerados no limiar entre o inventor e o artesão cuja competência resultava da prática [40]. Por exemplo, em Inglaterra só no século XX é que a formação de engenheiros passou a incorporar formação académica [40]. Quando a formação dos profissionais da engenharia passou a ocorrer no meio académico, a engenharia separou-se do conceito de artesão para se unir à ciência, que tinha um estatuto de neutralidade ética [4].

Em contraste com a área da medicina, onde a dimensão ética da ação dos seus profissionais é facilmente reconhecida, uma vez que intervêm diretamente com a vida dos indivíduos; a dimensão ética da prática da engenharia nem sempre foi reconhecida, uma vez que os objetos da ação direta dos profissionais da engenharia eram inanimados (máquinas, químicos, construções, materiais) [97] [98].

Historicamente, a engenharia era considerada neutra do ponto de vista ético [4] [99]: os profissionais da engenharia não eram considerados responsáveis pelas consequências do uso dos artefactos tecnológicos que criavam, limitando a sua responsabilidade aos cálculos técnicos [100] [101]. Nesta perspetiva, os cursos de engenharia não incorporavam formação ética [99], uma vez que não se reconhecia que os profissionais de engenharia tinham um papel ativo na tomada de decisões que envolviam o domínio ético [4].

Esta visão do papel da engenharia, de acordo com Taille [50], está enraizada na história da engenharia e do seu ensino, que nasceu e se desenvolveu no meio militar. A separação do ensino da engenharia dos objetivos e contexto militar, onde emergiu o ensino da engenharia “civil”, só ocorreu no fim do século XIX [102] [41].

Como referido, era considerado que a tomada de decisões dos profissionais da engenharia era apenas de natureza técnica (por exemplo, na escolha dos materiais a usar para fazer uma parte mecânica de uma máquina). Esta escolha / decisão devia ter em conta um conjunto de critérios técnicos de forma a satisfazer os objetivos definidos para a performance técnica da máquina. Aparentemente, tratava-se apenas de uma decisão / escolha técnica com influência no desempenho da máquina (análise técnica) e no seu custo (análise económica) [101].

No entanto, o passar do tempo mostrou que até uma decisão/escolha do material a usar na peça de uma máquina pode ter consequências importantes ao nível social e ambiental. Para ilustrar esta afirmação, considerem-se as consequências da escolha do latex natural como o material usado nos pneus dos carros produzidos por Henry Ford, que resultou na quase extinção do povo Zápara [31]; ou as consequências económicas, geoestratégicas, políticas e ambientais que resultaram da escolha dos combustíveis fósseis na produção da eletricidade, na produção industrial e nos transportes [12] [11]. Estes exemplos ilustram como a escolha dos materiais a usar (que é uma das frequentes tarefas no campo da engenharia) tem implicações que vão muito para além do exclusivo domínio técnico, mas podem influenciar as dimensões sociais, económicas, políticas e ambientais e podem causar, para além de benefícios, consequências nefastas não desejáveis (e por vezes imprevistas) a longo prazo [98] [103].

O reconhecimento de que as consequências da ação da engenharia vão muito para além do domínio técnico, não se limita à escolha dos materiais a usar, mas envolve a maioria das atividades dos profissionais da engenharia (projetar, dimensionar, assessorar, aconselhar,...), uma vez que todas elas envolvem escolhas / decisões / opiniões baseadas em critérios técnicos e económicos [98], mas cujo impacto vai muito para além dessas duas dimensões [104].

Apesar da prática da engenharia, no geral, ser orientada por boas intenções, as consequências nefastas ao nível social e ambiental da tecnologia criada pela engenharia tornaram-se cada vez mais visíveis [37] [105]. Esta visibilidade resulta principalmente do estudo e reconhecimento do papel da tecnologia na modelação dos comportamentos sociais e na crescente insustentabilidade ambiental [103]. Para Giddens [34] e Beck [11], esta visibilidade resulta também do enorme sucesso que a engenharia alcançou durante a sua evolução histórica e a expansão das suas áreas de ação, influência e poder. Perante tal, no início do século XX a engenharia deixou de ser considerada como eticamente neutra. Contudo, o seu ensino apresenta um atraso face a essa mudança.

A ausência da formação ética nos cursos de engenharia também se deve a algumas conceções sobre o que é a ética, o que é a formação ética, quando é que ocorre a formação ética, e até se é possível fazer formação ética. De forma sucinta, as principais conceções e argumentações que levam a não incluir a formação ética são [106]:

1. Os estudantes do ensino superior já são adultos e por isso já têm a sua formação ética consolidada
2. A formação ética é um processo que ocorre durante a infância e por isso é responsabilidade das famílias e não do ensino superior promover a formação ética
3. É uma perda de tempo fazer formação ética a adultos pois eles já não vão mudar
4. A ética é apenas bom senso, pois todos sabem distinguir o certo do errado
5. O ensino da ética é muito teórico e a ética não tem aplicação prática
6. A ética não se aprende / não se ensina
7. Ensinar ética não garante que os diplomados venham a agir de forma ética.

Relativamente aos 3 primeiros argumentos, estes não têm qualquer fundamentação científica, porque, de acordo com a psicologia do desenvolvimento moral, a consolidação dos principais princípios éticos ocorre dos 17 aos 25 anos [107], que é a idade mais comum nos estudantes do ensino superior, o que torna esta faixa etária muito propícia à formação ética; e porque o desenvolvimento ético ocorre ao longo de toda a vida [54].

Quanto ao ponto 4: se é assim tão simples fazer um discernimento ético, então porque há tantos comportamentos não éticos? Até uma situação aparentemente simples deixará de o ser, se tivermos em conta o contexto e os vários valores contraditórios que podem ser aplicados, ou as possíveis consequências que podem advir e os interesses dos diversos potenciais interessados/afetados [44]. A vida profissional na área da engenharia está cheia de situações complexas em que é difícil discernir entre o certo e o errado, em que é difícil tomar uma decisão eticamente fundamentada [2]. Também é frequente surgirem situações em que qualquer que seja a escolha, haverá sempre aspetos negativos a afetar alguma das partes interessadas/afetadas: perante tais situações, com que critérios escolher quem serão as “vítimas” [108] e em que medida atenuar as potenciais consequências negativas? O que está em causa na formação ética que o presente documento aborda, não são as situações e reflexões mais simples, mas as situações complexas de carácter profissional. Contudo, estudos mostram que mesmo nas situações aparentemente mais simples e do dia-a-dia académico, o discernimento ético dos estudantes precisa de ser (no geral) melhorado. Um estudo [109] concluiu que os estudantes de engenharia são os mais suscetíveis de praticar fraude académica e plágio, o que é um indicador de um fraco nível de desenvolvimento ético passível de ter repercussões no futuro exercício profissional [109].

O ponto 5 considera que a ética é essencialmente teórica e não tem aplicação prática, contudo, a ética é essencialmente prática, uma vez que o seu objetivo é ajudar a discernir sobre a melhor escolha das ações práticas a implementar [107] [54]. A reflexão ética só faz sentido se for passível de ser aplicada na tomada de decisões práticas e só é necessária porque precisamos de tomar decisões que não sejam nefastas, a curto e a longo prazo [47] [12]. Logo, a ética é principalmente prática, e tal é sustentado pelo uso sistemático de exemplos de aplicação prática (estudo de casos) na formação ética em engenharia [47] [44] [108]. No entanto, para uma boa aplicação da reflexão e discernimento ético, é útil e necessária a compreensão da fundamentação que está na base dos princípios éticos, para os compreender e saber aplicar na prática.

Quanto ao argumento 6, que considera que a ética não se aprende ou não se ensina, tal argumento não tem nenhuma fundamentação científica, uma vez que o ser humano tem uma capacidade extraordinária de aprendizagem que abrange todas as suas vertentes: desde comer, falar, andar até refletir, analisar, programar, planejar, estruturar, relacionar, entre outras. Com a exceção de alguns instintos básicos, o ser humano aprende todas as suas capacidades ao longo da vida, incluindo o discernimento ético. Ao longo da sua vida, o ser humano pode até

mudar os seus valores e princípios éticos várias vezes. Essa mudança resulta das oportunidades de aprendizagem a que estiveram expostos e pode ocorrer no sentido de melhorar o seu discernimento ético e responsabilidade, ou de o diminuir [107]. A dimensão ética é desenvolvida [54] por aprendizagem não consciente através do meio social e cultural em que se insere; por aprendizagem intencional através de formação formal ou informal feita por terceiros (no meio escolar, religioso, pelos meios de comunicação social, literatura,...); e por autoformação e desenvolvimento ético feito de forma intencional e consciente. Estas etapas podem coexistir ao longo da vida, sendo que a autoformação é pouco provável que ocorra na infância, e em alguns casos pode até não chegar a ocorrer mesmo em estádios mais velhos.

Relativamente ao argumento 7, é verdade que incluir formação ética nos cursos não garante que todos os alunos no futuro vão agir de forma eticamente responsável. Mas, isso é também verdade para todos os outros conhecimentos estudados/ensinados durante o curso. Assim, tal como esse argumento não serve para retirar um conteúdo técnico-científico do currículo, também não pode ser usado para excluir a formação ética. Contudo, é expectável que incluir determinado conhecimento/formação no plano curricular do curso aumente de forma significativa a probabilidade dos futuros diplomados usarem de forma correta esses conhecimentos. O mesmo se passa com a formação ética.

Em contradição com os argumentos apresentados contra a introdução de formação ética nos cursos de engenharia, há estudos científicos que provam que incluir formação ética nos cursos de engenharia tem um efeito positivo no comportamento ético dos estudantes e até na instituição como um todo [75]. Isto resulta dos muitos benefícios da formação ética, nomeadamente:

- aumentar a responsabilidade dos alunos, que por isso se empenham mais nas aulas e no seu estudo, resultando em melhores resultados académicos e na redução da fraude académica;
- maior empenho dos estudantes durante a sua formação académica resultará em diplomados mais bem preparados para a prática profissional e que serão potencialmente mais responsáveis e éticos na sua prática profissional, beneficiando assim os empregadores e a sociedade;
- os estudantes (e até os professores) tornam-se mais ativos, quer no processo de ensino/ aprendizagem, quer na intervenção na resolução dos problemas da sociedade.

Por outro lado, há indicadores de que a ausência de formação ética na faixa etária em que ocorre (na maioria dos casos) a consolidação moral (idade tradicional dos estudantes do ensino superior), pode ter consequências nefastas para o desenvolvimento moral. Neste sentido, um estudo feito na Universidade de Coimbra mostra que os estudantes são mais responsáveis quando entram na Universidade do que quando terminam os seus cursos [110].

Considerando a totalidade dos argumentos referidos contra a introdução de formação ética nos cursos de engenharia, é importante ter em conta que estes poderão resultar da falta de formação dos docentes de engenharia na área da ética e da psicologia do desenvolvimento moral (uma vez que alguns dos argumentos referidos contradizem os estudos nesta área). É sabido que os docentes tendem a replicar os métodos de ensino e modelos que foram usados na sua própria formação académica [111], pelo que a maioria dos docentes não teve formação ética incluída nos seus cursos; a visão da engenharia que recebeu baseava-se no objetivo de servir o sector económico de forma passiva e obediente [112]; bem como uma visão de neutralidade ética e inquestionável mais valia da tecnologia [51] [7]. A falta de formação dos docentes também pode justificar o facto de por vezes a ética ser incluída nos cursos, mas de forma desprezável ou apresentada como de menor valor ou importância [113]. Também o estudo de Almeida, Seixas, Gama e Peixoto [109] conclui que os professores deviam ter um papel mais ativo e intencional na formação ética dos estudantes, nomeadamente com vista à diminuição da fraude académica e do plágio. O estudo concluiu que a maioria dos docentes se omitem desse papel e se desresponsabilizam perante a existência de tais situações.

Contudo, um fator que pode levar a que a formação ética esteja pouco presente nos cursos de engenharia é a falta de ferramentas pedagógicas e de referenciais para a implementação prática da sua lecionação [114]. O presente trabalho de investigação pretende ser um contributo para atenuar este problema.

2.8 - Implementação prática da formação ética em engenharia

Segundo [114], a formação ética foi incluída pela primeira vez nos planos curriculares de cursos de engenharia nos 70 do século XX. Após a introdução inicial, houve um forte aumento da sua inclusão no final do século XX e princípio do século XXI. Apesar disso, “until now we do not find ethics, for example, in electrical engineering or information technology study programs” [114, p. 1]. Este facto é ainda mais relevante tendo em conta que “Currently, ethics is intensively discussed in relation to artificial intelligence, robotics, and human-machine interaction” [114, p. 1], e que estes são tópicos das áreas da engenharia eletrotécnica e da engenharia informática. Para este autor, “The teaching of ethics is a serious problem faced by many educators. (...) The difficulty, however, is not just WHAT to teach, but HOW to do it.”, o que justifica a necessidade de mais investigação sobre o que deve ser ensinado (que competências devem ser promovidas), e sobre os métodos que podem ser usados de forma eficiente para esse fim (isto é, a construção de ferramentas pedagógicas). É nesta temática que se enquadra o presente trabalho de investigação.

“Engineers have a responsibility to future generations and to all living/non-living communities under their involvement because the technology areas have expanded so much

nowadays that engineers have become responsible for many social activities in daily life.” [73, p. 365]. Este autor defende que a formação ética é imprescindível à formação de bons profissionais da engenharia; e alerta que é necessário garantir que os estudantes de engenharia levam a sério a formação ética, questionando o que deverá ser feito para que tal aconteça. Para cativar os estudantes para a ética, pergunta como é que a formação ética pode ser interessante para os alunos de engenharia, focando que a formação não deverá ser monótona. Este autor, tal como outros, defende que a formação ética em engenharia deve incluir a macro ética e a micro ética, entendidas como “While the individual and internal relationships of the engineering profession are considered as micro ethics, macro ethics deals with collective social responsibility and the social sustainability of progressing technology” [73, p. 367]. Na sua perspetiva, o ensino da ética deve incluir um conjunto de tópicos que estão resumidos na figura 2.9. Apesar do grande contributo desta proposta, a sua simplicidade ainda a torna vaga para a construção prática da formação ética em engenharia, havendo a necessidade de concretizar e aprofundar os tópicos e competências que a formação ética deve promover.

O estudo de [115] estruturou as competências éticas que se devem promover na formação de estudantes de engenharia em 6: sensibilidade moral, responsabilidade profissional e social, competências de análise moral, criatividade moral, julgamento moral e competências de tomada de decisão e competências de argumentação moral.

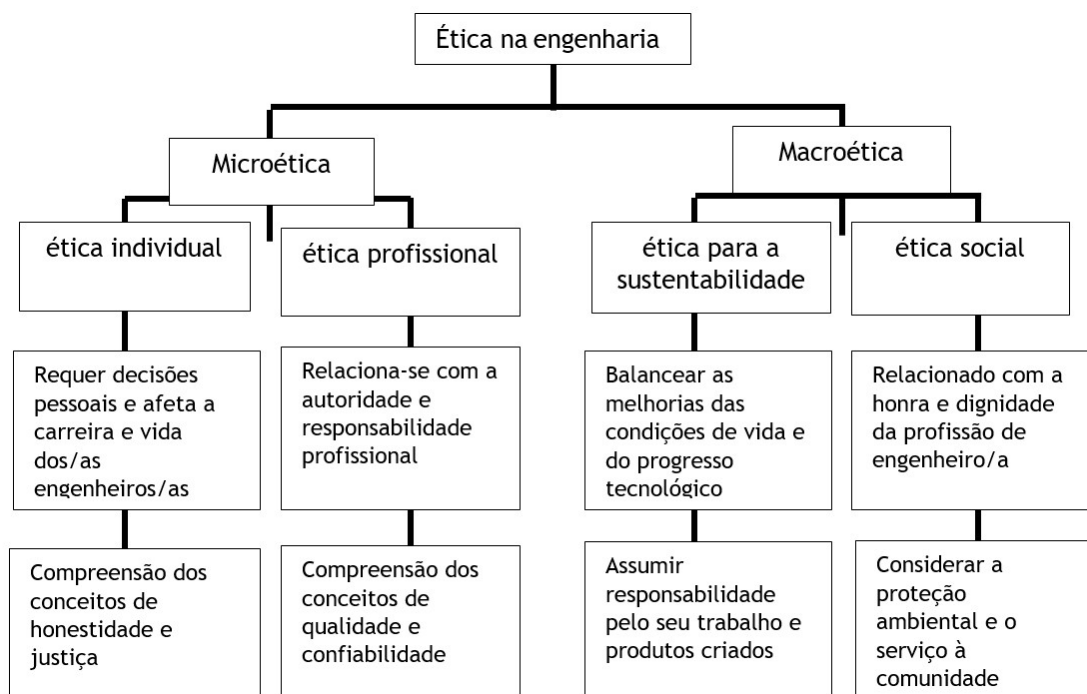


Figura 2.9 - Proposta da estruturação e conjunto de tópicos que a formação ética em engenharia deve incluir segundo [73].

Segundo Dikici [73], a maioria da formação ética em engenharia é opcional e baseia-se em análise de casos de estudo. Os casos de estudo baseiam-se em registos históricos de eventos que tiveram desfechos graves ou perigosos (por exemplo, caso do incêndio na Grenfell Tower, o escândalo da manipulação dos dados dos testes de emissões da Volkswagen; o caso do projeto defeituoso do sistema de fuel do Ford Pintos; o colapso da Tacoma Narrows Bridge devido a erros de cálculos; a explosão do vaivém espacial Challenger; os erros no projeto da plataforma petrolífera Piper Alpha). Também [116] defendem que o uso de casos de estudo seguidos de debate é o método mais usado na formação ética em engenharia. Apesar deste ser o método mais usado, [73] indica que usar apenas informação de casos históricos pode dificultar que os estudantes sejam capazes de expandir a análise ética a novos casos reais, presentes ou futuros.

Bombaerts, Martin e Doulougeri [117] estudaram o uso da metodologia pedagógica “Aprendizagem Baseada em Desafios” para promover a formação ética em cursos de engenharia. Neste método pedagógico, os alunos são desafiados a resolver um problema complexo e real, que é proposto por uma entidade externa. Os autores defendem que, para que este método seja aplicado à formação ética em engenharia, é necessário definir um planeamento específico para esse fim. As conclusões indicam que “(...) a more open approach gives more room for creativity, provides the students more to practice in real-life, wicked challenges”, pelo que problemas abertos e complexos são mais adequados à formação ética.

Maalouf [118] analisou os resultados do recurso a voluntariado em organizações comunitárias para a formação ética em engenharia. Cada novo estudante faz voluntariado cívico em conjunto com um colega mais velho. O estudo mostrou que os resultados dependiam da idade e nível de formação de cada estudante, e do tempo que durava a atividade.

Kirkman [119] implementou o uso de “Aprendizagem Baseada em Projetos” para promover a formação ética em engenharia. O seu uso foi feito numa unidade curricular específica de formação ética em que cada grupo de alunos trabalhava num problema aberto, seguido de debates no conjunto da turma sobre os vários problemas. O uso de debates e vídeos também foi usado para formação ética em engenharia [73]: pequenos grupos de alunos faziam um vídeo de 5 min sobre um problema ético à sua escolha e mostravam à turma para debate. Esta metodologias ativas permitiram para que os estudantes apreciassem as aulas sobre ética: “contribute to their enjoyment of ethical lectures” [73, p. 374].

Ehnberg, Lundmark e Lundberg [116, p. 1] defendem que é importante incluir formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica porque: “(...) electric power engineering has become more and more frequent due to the electrification trend as well as introduction of new electricity production“. Estes autores estudaram os resultados da introdução de formação ética a estudantes de engenharia eletrotécnica usando como base de estudo o Código Ético do IEEE. O estudo permitiu concluir que o método usado “can be found relevant to students and teachers with a background in electric power engineering. (...) which makes it possible to use the method as an effective mean to teach ethics for future electric power engineers“ [116, p. 1]. Este

estudo foi feito na Suécia a estudantes do mestrado, no âmbito do desenvolvimento do projeto de mestrado. Cada projeto foi usado como caso de estudo, sobre o qual o respetivo estudante tinha de incluir uma análise ética no relatório final. A formação baseou-se em debates e palestras feitas por especialistas convidados. Para além do código ético do IEEE, também foi analisado o “The Ten Principles of the Code of Honour” da Sveriges Ingenjörer (Associação Sueca dos Diplomados em Engenharia).

Segundo [116, p. 5] “It is relevant to discuss ethics in electric power engineering programs at master level, as the development in the society requires an increased level of awareness. However, the need is not fully shared among the students, which often are sceptical.” Estes autores testaram (na Suécia) o uso de 3 diferentes formatos para incluir formação ética (opcional) no curso de mestrado em engenharia eletrotécnica (workshop online, aula pré-gravada, workshop presencial), mas concluíram que os resultados eram semelhantes nos 3 casos: “thus the mindset of some students does not seem to be affected by the method used in the course.(...) Yet, results showed that most of the students found the IEEE codes relevant for their project, and for their future career. The students felt that they were better, but not fully, prepared for ethical discussions in the future, such as for writing their master thesis, where an ethical discussion is mandatory” [116, p. 5]. No seu estudo, estes autores também encontraram “The lack of engagement, or even resistance, against an ethical discussion among students” [116, p. 5].

Para [73, p. 368], a formação ética deve implicar “a culture of ethical behaviour” que “can be created at all stages of engineer candidates’ education, thus providing the prerequisite of preparing a good engineer for the industry”. Para este autor, também é imprescindível incluir a dimensão da sustentabilidade na formação ética em engenharia, pelo que questiona “How Can Sustainability Occur in Ethics Learning?”. Segundo este autor, “Universities apparently need to make radical changes to the engineering curriculum and to add compulsory engineering ethics courses rather than being elective. Perhaps engineer candidates who’ve not undergone proper ethics courses will not be allowed to work in the industry in the near future.” [73, p. 373]. Quanto aos conteúdos da formação ética, este autor salienta que “Students should be taught before they graduate about the social, environmental, and economic impacts of decisions made on ethical issues” [73, p. 374].

Para [120, p. 118], a formação ética em engenharia deve abranger: “professional engineering codes of ethics, conceptual development of ethical reasoning and theories, ethical intelligence through humanist book readings, ethical heuristics for ethical inclusion, case studies practice, and field-based learning”. Apesar destas indicações, estes autores reconhecem que “How to effectively and efficiently deliver ethics education and training in higher education should be assessed” [120, p. 119] e que “the absence of explicit ethical standards in engineering ethics education” prejudica a implementação prática da formação ética nos cursos de engenharia.

Díaz, Onorati e Aedo [24, p. 1], defendem que a formação em engenharia precisa de formação ética porque “(...) the artifacts created by engineers have an impact on society and the environment”. Estes autores defendem a integração de formação ética como uma unidade curricular isolada e como micro inserções em unidades curriculares de desenvolvimento tecnológico, promovendo a interligação entre tópicos técnicos e a ética. Para tal, estudaram a inserção de ética em duas unidades curriculares de engenharia informática numa instituição espanhola. Nesse processo usaram grupos de aprendizagem ativa e reflexão crítica sobre as consequências da tecnologia criada e como esta não é eticamente neutra. Também na Holanda, durante os últimos 20 anos [121] se focaram na formação ética em engenharia para promover “the notion that technologies are inherently value-laden, and as such contain the possibility of fostering or hindering moral values”. Para isso usaram diferentes métodos pedagógicos: “This is often taught at a theoretical level (...), and also “lived” through various role-play exercises (...), stakeholder analyses, and in-depth challenge-based learning exercises such as student project groups” [121, p. 4]. Estes autores referem que a “Gamification is another method we suspect has great potential for getting students invested in the ethical dimensions of their work, and for fostering critical ethical thinking” [121, p. 8], o que reforça a importância do presente trabalho de investigação que inclui o estudo do uso de jogos educativos na formação ética em engenharia.

2.9 - Conclusões do capítulo

O presente capítulo apresentou a principal argumentação presente na literatura que justifica a necessidade e importância de incluir formação ética nos cursos de engenharia, assuntos esses que foram discutidos à luz dos dados científicos disponíveis. Esta necessidade resulta principalmente da constatação da influência e poder que a ação da engenharia tem na dimensão social, económica e ambiental, e dos seus efeitos positivos ou perigosos. Mas também foram apresentadas as principais argumentações contra a introdução de formação ética nos cursos de engenharia. Contudo, constatou-se que tal argumentação não tem fundamentação científica e resulta principalmente da visão histórica da neutralidade da engenharia [14] [4].

Apresentaram-se também os dados sobre a presença de formação ética nos cursos de engenharia em Portugal (dados de 2014/2015). Uma vez que se constatou que os cursos de engenharia eletrotécnica são dos com menor presença de formação ética, apresentou-se um estudo focado nestes cursos com o levantamento da formação ética incluída de forma explícita nos cursos relativos ao ano letivo de 2021/2022. Este estudo evidenciou que persistia a falta de formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica em Portugal, o que justifica a necessidade de um trabalho de investigação nesta área.

Contudo, incorporar formação ética nos cursos de engenharia é um grande desafio, quer na forma desta ser incorporada no plano curricular, quer na escolha das práticas pedagógicas a

usar [14] [15]. A falta de um referencial para as competências que este perfil de formação deve promover e de ferramentas pedagógicas adequadas à formação ética em engenharia [120] pode ser em fator importante para que esta formação não esteja incluída nos cursos de engenharia (nomeadamente de engenharia eletrotécnica), o que justifica a importância do presente trabalho de investigação.

Após revisão da literatura, o capítulo 3 apresentará o estudo efetuado que permitiu construir um referencial para as competências éticas a promover na formação ética em engenharia, bem como a sua aplicação à estruturação de uma unidade curricular específica de formação ética.

Capítulo 3

Referencial para as competências que a formação ética em engenharia deve promover

"We believe that engineers will be so important in this future society because their education uniquely provides them with the essential knowledge, skills, processes and perspectives to understand the complex system that modern life has become."
Massachusetts Board of Higher Education, 1997

Neste capítulo apresenta-se a investigação feita para responder à subquestão Q1 (Que competências se pretendem alcançar com a formação ética?) e os seus resultados. Uma vez que este trabalho foi publicado na revista *London Review of Education*, o capítulo corresponde ao artigo publicado:

Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Decentring engineering education beyond the technical dimension: ethical skills framework. *London Review of Education*, 22 (1), 23.
DOI: <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.23>.

3.1 - Enquadramento

Ao longo da História, a engenharia tem desempenhado um papel central na evolução da humanidade e na sua relação com o ambiente, na economia e na distribuição da riqueza [50] [122] [8] [100]. O papel central que a engenharia desempenhou no passado e tem na contemporaneidade, e na atual insustentabilidade ambiental (porque amplia a capacidade de extração e utilização dos recursos naturais, bem como a produção industrial, o que leva à sobre-exploração dos recursos naturais, à devastação dos ecossistemas e ao aumento da poluição) mostram como a engenharia também condiciona fortemente a construção dos possíveis futuros [33].

No entanto, os engenheiros desconhecem o poder da engenharia e as suas possíveis consequências [2], em parte porque estes temas não costumam ser incluídos na formação dos engenheiros/as [123]. No passado, estes temas não eram abordados nos cursos de engenharia porque a engenharia era considerada neutra do ponto de vista político e ético [4]. Por isso, não era considerada responsável pela utilização da tecnologia que criava nem pelas consequências que dela resultavam [12]. Este é ainda o paradigma dominante no ensino da engenharia, particularmente em Portugal [123].

No entanto, dado o poderoso papel da engenharia na sociedade atual, é urgente reconhecer a necessidade de os profissionais desta área serem recetivos e empenhados a nível sociopolítico na construção ética coletiva do bem comum [100] [124]. Para contribuir para uma formação em engenharia mais responsável [125] é necessário que os engenheiros sejam formados numa visão consciente do poder da engenharia e que esse poder seja usado de forma responsável e para o bem comum (incluindo a sustentabilidade) [100]. Isto implica uma mudança no paradigma dominante no ensino da engenharia [126].

O paradigma dominante no ensino da engenharia (particularmente em Portugal) perpetua uma visão centrada na neutralidade ética da engenharia [123]. O foco principal deste paradigma é o serviço que a engenharia presta ao crescimento económico [127] [128], e no qual a evolução tecnológica é vista como um bem em si mesmo [22]. Esta perspetiva defende que o progresso se tornará imparável [29] e que a engenharia tem um “superpoder” que não pode ser interrompido e que lhe permite tornar o impossível tecnicamente possível [22]. Esta perspetiva circunscreve a engenharia (subjugando-a à economia) e mantém o seu ensino limitado à dimensão técnico-científica descontextualizada [127]. Esta visão focada e limitada ignora o que vai para além dos números técnicos e económicos e, por isso, tende a ignorar os efeitos colaterais e/ou indesejados [124], por exemplo, a nível humano e ambiental (excluindo na engenharia ambiental).

Ao ensinar/estudar a dimensão técnico-científica desligada da realidade da sua aplicação sociocultural-política-económica-ambiental, promove-se o descomprometimento dos engenheiros face às questões sociopolíticas e ambientais. Mas, esta dimensão é necessária para uma educação responsável [129] [130], por isso, é necessário e urgente promover a uma mudança no ensino da engenharia que inclua, para além da dimensão técnica, uma visão das possíveis consequências e responsabilidades da ação da engenharia [131] [112] [132].

Dürr [4] defende ainda a necessidade de mudança na prática da engenharia, realçando a necessidade de passar da dimensão técnico-científica para a ética. Este autor analisa se o conhecimento técnico-científico na prática é utilizado para promover o bem comum, ou se, pelo contrário, é utilizado sem consciência em benefício económico de alguns sectores que beneficiam do hiperconsumo que destrói a natureza. O autor defende que a missão dos engenheiros deve ser a de resolver os problemas globais que hoje afetam e ameaçam a humanidade, e que este objetivo deve ser assumido de forma explícita e comprometida,

sempre com a ponderação da reflexão ética. Nesta linha, crítica o paradigma dominante: o principal objetivo deve ser “melhorar a qualidade da nossa vida e não transformar a matéria do nosso Cosmos em bens de consumo” [4, p. 210]. Nussbaun [133] e Colon [134] também consideram que é necessário que a engenharia incorpore a capacidade de autorreflexão ética sobre as consequências da sua ação, assumindo assim a responsabilidade tanto pelo presente como pelo futuro.

Por outro lado, incluir formação ética nos cursos de engenharia pode ser um fator de atração de mais mulheres para esta área [82]. A visão limitada (estritamente técnica) da ação da engenharia e desligada das suas consequências na sociedade, na humanidade, no ambiente, pode ser um fator que contribui para que poucas mulheres escolham algumas áreas da engenharia, nomeadamente engenharia eletromecânica, mecânica, eletrotécnica ou informática [135]. Isto deve-se ao facto de as mulheres preferirem áreas profissionais de intervenção direta com as pessoas, ou que contribuam para o bem comum, para a melhoria das condições de vida, que envolvam o cuidado dos outros ou da natureza [136]. Estas dimensões por vezes estão ausentes dos conteúdos explícitos de algumas áreas das engenharias (nomeadamente da engenharia eletrotécnica, mecânica e de informática), que são também as áreas menos escolhidas pelas mulheres [135]. Por outro lado, o aumento da presença de mulheres nas áreas da engenharia em que estão mais ausentes, poderá também contribuir para redirecionar a engenharia para novas perspetivas e para que a sua ação seja colocada de forma mais consciente e responsável ao serviço do bem comum [82]. Neste sentido, Silbey [136] reconhece que *“women, more often than men, add that they want to become socially responsible engineers, working to solve major problems and making a difference in people’s lives—which is consistent with other research showing that women are significantly more likely than their male counterparts to be interested in engineering work that is “socially conscious” (i.e., specializations such as environmental vs. electrical engineering)”*. Neste mesmo sentido, [124] defende que é necessário substituir o pensamento “cérebro-máquina” pelo pensamento “cérebro-jardim”, centrado no cuidado e na vigilância, o que implica deixar de ver a economia, a natureza, o crescimento económico ou o desenvolvimento tecnológico como máquinas que crescem e se auto regulam a si próprias. Nesta perspetiva, em alternativa a uma atual posição passiva que se deixa arrastar pelo sistema e que vê o futuro como uma inevitabilidade, o economista e o engenheiro passam a assumir um papel ativo no presente, de construção cuidadosa, ética e responsável do futuro. A mudança implica tornar-se consciente das consequências da própria ação ou omissão e as suas implicações no todo o socio-político-cultural-ambiental. Também envolve refletir sobre os objetivos a serem alcançados, e perceber que alguns objetivos são incompatíveis entre si (por exemplo, crescimento económico infinitamente crescente e equilíbrio ambiental), implicando escolhas éticas, responsáveis e sensatas.

No contexto anteriormente apresentado, precisa-se de formar engenheiros responsáveis e sensíveis aos desafios humanos e planetários que enfrentamos “and who are willing to pay attention to the needs of all their inhabitants” [124]. Com este objetivo, Felber [137] considera essencial incorporar na formação de engenharia comportamentos e valores que promovam o bem comum. Para isso, é necessário analisar, estudar e refletir sobre o presente, tendo em conta as lições do passado e com o objetivo de preparar de forma ética e responsável o futuro [12].

Nessa linha, também Hansen [138] argumenta que é essencial promover o desenvolvimento da reflexão ética e filosófica para que os estudantes compreendam as relações entre tecnologia, ciência e valores éticos, a fim de prevenir o uso instrumental perigoso do conhecimento científico e da tecnologia [139].

Perante estas perspetivas, é necessário:

- Reconhecer e assumir que a engenharia não é eticamente neutra (“Knowledge never is and never can be neutral” [129]) e formar os profissionais desta área para agirem de forma responsável e ética [12].
- Reconhecer o poder da ação de engenharia e como este tem sido usado ao longo da história, incluindo a nível económico, social, cultural, político e ambiental;
- Reconhecer a sua missão principal “melhorar as condições de vida da humanidade” [17] e educar para esta missão e para as diferentes visões do que esta missão significa.
- Preparar os engenheiros para assumir a responsabilidade ética por ações e inações que no presente possam prejudicar o futuro e as gerações futuras, de forma holística.

Isto permite educar para uma tomada de decisão consciente e responsável, pesando crítica e eticamente as possíveis consequências que podem surgir, nomeadamente para as gerações mais desfavorecidas socialmente e para as futuras gerações (que ainda não têm voz no presente) [4] [140].

A visão holística e responsável implica considerar e ser sensível às diferentes formas como podem diferentes stakeholders podem ser afetados pela ação de engenharia. Neste ponto, é importante ter em conta que os estudantes de engenharia estão entre aqueles que apresentam um menor nível de empatia [141], o que pode dificultar a abertura e a compreensão das perspetivas de outras pessoas/grupos ou entidades. A baixa empatia também dificulta uma análise ética abrangente e aprofundada, pois dificulta a consideração dos pontos de vista das outras pessoas e a compreensão dos seus problemas [142]. Perante isto, é também necessário incluir formação intencional e explícita para promover a empatia nos cursos de engenharia [97].

Neste contexto, é necessário que o ensino da engenharia, para além da dimensão técnico-científica, deve incluir formação ética que abranja a consideração dos diferentes pontos de

vista das várias partes potencialmente afetadas, a reflexão sobre os valores éticos e a autorreflexão (sobre os seus próprios objetivos ou missão). Isto contribui para uma formação em engenharia mais responsável, incluindo ao nível do seu contributo para a sustentabilidade.

3.2 - Formação ética e desenvolvimento ético

A formação ética tem como objetivo geral promover o desenvolvimento ético/moral dos estudantes. Os estudos de Piaget [143] permitiram afirmar que o desenvolvimento moral/ético ocorre de forma progressiva, paralela e associada ao desenvolvimento cognitivo [144].

Segundo Kohlberg [145] o desenvolvimento moral/ético pode ser dividido em 3 níveis [144]:

- Pré-convencional (baseado no cumprimento de regras e deveres morais para evitar castigos ou receber recompensas - motivação heterónoma/extrínseca). Neste nível de desenvolvimento moral, os indivíduos concentram-se no poder e no estatuto social e são incapazes de distinguir perspetivas diferentes das suas nos dilemas morais.
- Convencional (baseado no cumprimento das regras sociais). Há o reconhecimento do seu papel enquanto membro da sociedade e a necessidade de cumprir códigos e regras que se aplicam a todos e são fundamentais para o bom funcionamento da sociedade. Neste nível desenvolve-se a preocupação com o outro, procurando o bom funcionamento da sociedade.
- Pós-convencional (baseado em princípios e valores universais). Há a descoberta de que existem conflitos entre as regras e a sua prática ou intenção. O reconhecimento destes conflitos abre espaço para a valorização dos direitos humanos e dos princípios éticos universais, nomeadamente o respeito pela dignidade humana e pela justiça. Neste nível há adesão às normas e regras desde que respeitem os princípios éticos universais. Há abertura e sensibilidade para os aspetos culturais e diversidade de pontos de vista.

Na formação ética dos estudantes do ensino superior é necessário ter em conta que podem coexistir estudantes que tenham diferentes níveis de desenvolvimento moral, que tenham origens culturais diferentes, e que todos devem ser incluídos no processo de formação ética.

Para Puig Rovira [146], o envolvimento das emoções e dos sentimentos é fundamental no processo de desenvolvimento moral, que é um processo de construção realizado pelo indivíduo. Puig defende que para que o desenvolvimento moral ocorra é necessário desenvolver o pensamento moral, razão pela qual este é o principal objetivo da formação ética.

Nos casos em que a educação ética já é incluída nos cursos de engenharia, esta é feita através de diversas formas: unidade curricular específica, unidade curricular optativa, formação extracurricular, aulas optativas, aulas obrigatórias inseridas noutras unidades curriculares técnico-científicas ou de competências transversais, distribuindo os conteúdos

pelas diversas unidades curriculares técnico-científicas do curso [147], ações de voluntariado ou outras atividades [134]. A opção de pelo menos uma unidade curricular obrigatória integralmente dedicada à formação ética parece ser a opção que mais contribui para a valorização desta componente formativa, por ser obrigatória e por ter espaço e tempo específicos e explícitos no currículo (por isso considerada importante e necessária para o exercício profissional da engenharia).

A implementação de formação ética de carácter opcional, extracurricular ou que não tenha conteúdo ou objetivos bem definidos, contribui para aumentar a perceção frequente entre estudantes e professores de que este é um tema sem importância na engenharia [113] e, portanto, não é obrigatório. Perante isto, considerou-se importante incluir formação ética nos cursos de engenharia como obrigatória e com uma unidade curricular específica para esse efeito.

Há um amplo consenso sobre a importância de incluir a educação ética nos cursos de engenharia [93] [94] [95] [96]. Apesar disso, existe uma falta de estudos e de consenso sobre os conteúdos específicos a serem incorporados nessa formação e como implementá-los na prática [14] [15], bem como sobre a dimensão pedagógica da formação ética dos estudantes de engenharia. Essa carência justifica a importância do presente estudo, que se foca nos conteúdos específicos a serem incorporados na formação ética em engenharia. A definição das competências éticas que devem ser promovidas na formação ética em engenharia é fundamental para facilitar a sua implementação prática e, consequentemente, contribuir para a prática profissional mais eticamente responsável.

3.3 - Objetivo específico e metodologia

Com vista a contribuir para um melhor ensino da engenharia e para o desenvolvimento da dimensão pedagógica da formação ética dos estudantes de engenharia, o objetivo do presente sub-estudo é desenvolver um referencial para as competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia que incentivem a prática profissional eticamente responsável.

A metodologia utilizada incluiu uma revisão sistemática da literatura direcionada para o objetivo em causa, a análise documental e conceptualização para:

- identificar as competências éticas necessárias para a prática profissional da engenharia. Foram abrangidas publicações científicas na área e documentos de entidades responsáveis pelo exercício profissional da engenharia (a nível nacional e internacional).
- identificar os diferentes enquadramentos que ajudaram a estruturar os resultados (nomeadamente a taxonomia de Bloom [148] e os níveis de desenvolvimento moral/ético de Kohlberg [145]).

As entidades responsáveis pelo exercício profissional da engenharia em Portugal são a Ordem dos Engenheiros e a Ordem dos Engenheiros Técnicos. No estudo foram analisados os

respetivos códigos de ética e deontologia [17] [18]. A Ordem dos Engenheiros está harmonizada do ponto de vista das competências para o exercício da profissão com a EUR-ACE (European Accredited Engineer) [149] que é um referencial de acreditação ao nível europeu.

Por ser de amplo reconhecimento na área da eletrotecnia, a entidade internacional escolhida foi o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que é a “world's largest technical professional organization dedicated to advancing technology” e “the trusted voice for engineering, computing, and technology information around the globe” [150]. O IEEE é a referência internacional em diversas áreas da engenharia e o seu Código de Ética [19] é aplicável a qualquer área da engenharia, pelo que os resultados obtidos também se aplicam às diferentes áreas da engenharia.

Após a recolha e análise resultante da revisão da literatura, foi desenvolvida uma conceptualização e estruturação das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia. O referencial construído foi aplicado ao caso prático de uma unidade curricular de formação ética de um curso de licenciatura em engenharia eletrotécnica e de computadores de uma instituição de ensino superior portuguesa (ISEC).

Após revisão da literatura e análise dos códigos éticos e deontológicos da Ordem dos Engenheiros, da Ordem dos Engenheiros Técnicos e do IEEE, as competências éticas identificadas foram sintetizadas e agrupadas. A construção do referencial incluiu também a proposta do conjunto de objetivos pedagógicos necessários para atingir cada uma das competências éticas identificadas, tendo em conta que “traçar os objetivos educacionais para o desenvolvimento de determinadas competências torna-se o primeiro passo do planeamento didático de um curso, disciplina, ou aula de qualquer modalidade de ensino” [151]. Foi ainda feita uma classificação de cada objetivo de acordo com a taxonomia de Bloom [148] e uma organização de acordo com os níveis de desenvolvimento moral de Kohlberg [145]. A figura 3.1 apresenta a síntese da metodologia utilizada.

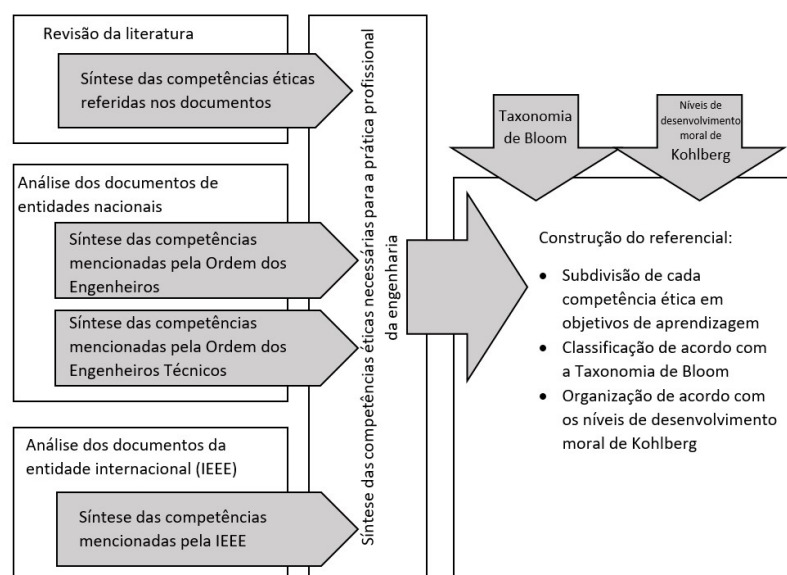


Figura 3.1 - Resumo da metodologia utilizada [152].

3.4 - Competências éticas identificadas

A revisão da literatura para identificar as competências éticas necessárias para a prática profissional da engenharia, foi feita usando as plataformas B-on e Google Scholar e os termos “ethics education” + “engineering”. Os documentos identificados foram posteriormente filtrados tendo em conta a referência às competências éticas exigidas aos diplomados em engenharia. Deste processo resultaram 28 artigos científicos e uma Tese de Doutorado [153]. Em cada documento foram identificadas as competências éticas que deveriam ser promovidas nos cursos de engenharia. A tabela 3.1 apresenta o resumo das competências éticas mencionadas nos 29 documentos estudados, indicando o número de documentos que se referem a cada uma das categorias identificadas.

Tabela 3.1 - Síntese das categorias de competências éticas referidas nos 29 documentos estudados neste sub-estudo, indicando quantidade de documentos que se referem a cada uma das competências [153].

Categorias das competências	Nº de documentos
Tomar decisões profissionais eticamente fundamentadas, baseadas na reflexão ética e crítica, mesmo perante problemas complexos e mal estruturados	26
Compreender e assumir a responsabilidade profissional e ética, esforçando-se por agir eticamente	20
Identificar problemas éticos a nível ambiental e social e ser capaz de ter empatia com os outros	15
Considerar vários pontos de vista/perspetivas na análise de problemas -saber trabalhar em equipas multidisciplinares	14
Compreender a missão da engenharia na sociedade e comprometer-se com o bem-estar individual e comunitário	12
Reconhecer e compreender os impactos negativos das inovações tecnológicas e a dimensão ética a elas associada (reconhecer e compreender os limites éticos da ciência e da tecnologia)	10

A análise do Código Ético e Deontológico [17] da Ordem dos Engenheiros permitiu identificar 5 categorias que sintetizam as competências éticas referidas no documento [154]. A tabela 3.2 apresenta o resumo da análise realizada.

A análise do Código Deontológico [18] da Ordem dos Engenheiros Técnicos permitiu a identificação de 7 categorias que resumem as competências éticas referidas no documento analisado [123]. A tabela 3.3 apresenta o resumo da análise realizada.

A análise do Código de Ética do IEEE [19] permitiu identificar 7 categorias que resumem as competências éticas direta ou indiretamente incorporadas no documento analisado. A tabela 3.4 apresenta o resumo da análise realizada.

As diversas competências referidas nas tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 foram agrupadas e resumidas em 7 competências éticas principais (CEP):

CEP_A: Ter motivação pessoal para tomar decisões eticamente informadas e agir profissionalmente de forma ética e responsável

CEP_B: Reconhecer e avaliar a responsabilidade ética profissional das ações individuais dos profissionais da engenharia

CEP_C: Compreender a dimensão ética da missão da engenharia

CEP_D: Compreender e estimar a complexidade e o potencial alcance das consequências da ação profissional da engenharia

CEP_E: Analisar e fundamentar com base nos valores, conceitos e princípios da área da ética

CEP_F: Considerar vários pontos de vista e perspectivas de diversas áreas ao analisar problemas complexos e mal estruturados e ter empatia pelos outros

CEP_G: Atuar com base nos princípios da ética para a sustentabilidade: a nível social, económico e ambiental.

Tabela 3.2 - Conjunto de 5 categorias não exclusivas que emergiram da análise e número de vezes que cada competência é mencionada no documento (Código Ético e Deontológico da Ordem dos Engenheiros).

Categorias das competências	Nº de referências
Ter motivação pessoal para agir eticamente	70
conhecer e compreender os valores éticos envolvidos na prática da engenharia e reconhecer e compreender a dimensão ética da ação da engenharia	52
Saber analisar crítica e eticamente, argumentar e fundamentar, comunicar e dialogar no domínio da ética	41
Saber estimar e compreender a complexidade e o potencial alcance das consequências da ação de engenharia	31
Conhecer, compreender e saber aplicar os princípios da ética para a sustentabilidade	14

As competências identificadas envolvem o domínio cognitivo (aprendizagem intelectual) e afetivo (consciência e integração de valores) da taxonomia de Bloom [148] e envolvem também o desenvolvimento moral/ético. A competência CEP_A (Ter motivação pessoal para tomar decisões baseadas na ética e agir profissionalmente de forma ética e responsável) implica o desenvolvimento moral/ético pessoal [145] e a integração de valores a nível pessoal e motivação intrínseca para agir eticamente, envolve, portanto, o domínio afetivo da taxonomia de Bloom [155]. Assim, difere de outras competências, que se focam sobretudo no domínio cognitivo.

Tabela 3.3- Resumo do conjunto de categorias não exclusivas identificadas no Código Deontológico da Ordem dos Engenheiros Técnicos e número de vezes que cada competência é mencionada no documento.

Categorias das competências	Nº de referências
Ter motivação pessoal para agir de forma ética	79
Saber analisar e fundamentar com base em aspetos/conceitos da área da ética	39
Compreender os valores e conceitos éticos	21
Conhecer as normas e legislação em vigor	19
Reconhecer a responsabilidade profissional individual	13
Saber estimar e compreender a complexidade e o potencial alcance das consequências do desempenho profissional	7
Conhecer e compreender como aplicar os princípios da ética para a sustentabilidade	1

Tabela 3.4 - Resumo do conjunto de categorias não exclusivas identificadas no Código de Ética do IEEE e o número de vezes que cada competência é mencionada no documento.

Categorias das competências	Nº de referências
Compreender valores e conceitos éticos e relacioná-los com o exercício da engenharia	21
Ter motivação pessoal para agir eticamente	19
Reconheça a responsabilidade profissional individual	13
Saber estimar e compreender a complexidade e o potencial alcance das consequências da sua ação profissional	7
Conhecer as regras e regulamentos da área	3
Reconhecer os seus limites e ser humilde para pedir ajuda	3
Conhecer, compreender e aplicar os princípios da ética para a sustentabilidade	1

Tendo em conta as características da competência CEP_A, esta foi considerada como uma competência central que pode ser alcançada indiretamente a partir das restantes competências. Considerou-se que é mais provável que haja motivação pessoal para tomar decisões com base ética e agir profissionalmente de forma ética e responsável se for reconhecido que a prática da engenharia envolve responsabilidade ética, tanto a nível individual como coletivo; que algumas consequências das ações de engenharia podem ser perigosas e injustas; se se compreender e saber utilizar a linguagem e os conceitos da área da ética e se se consegue realizar uma análise ética aplicada a uma situação concreta (ainda que complexa e aberta); e se compreender a responsabilidade e o papel preponderante da

engenharia na questão da insustentabilidade/sustentabilidade. Ou seja, a competência central (CEP_A) é alcançada através do progresso das restantes competências.

A figura 3.2 realça a centralidade da competência CEP_A e o facto de esta estar interligada com todas as outras, o que simultaneamente constitui um contributo para o seu desenvolvimento e, ao mesmo tempo, é potenciado pelo desenvolvimento pessoal da competência central (o facto de aumentar a motivação intrínseca e o empenhamento pessoal auxiliam no processo de aprendizagem de cada uma das restantes competências).

A formação ética em engenharia deve incluir [156] a dimensão da micro ética (entendida como aquilo que “concerned with individuals and the internal relations of the engineering profession” [157]) e da macro ética (entendida como a “collective social responsibility of the engineering profession and to societal decisions about technology” [157]). No conjunto de competências apresentadas neste quadro, estão incluídas as duas dimensões: por exemplo, a competência CEP_B (Reconhecer e avaliar a responsabilidade ética profissional das ações individuais dos profissionais da engenharia) enquadra-se no domínio da micro ética; e a competência CEP_D (Compreender e estimar a complexidade e o potencial alcance das consequências da ação profissional de engenharia) insere-se no domínio da macro ética. A proposta apresentada foi desenhada para começar pela dimensão da micro ética (CEP_B), após a qual a etapa CEP_C (Compreender e justificar a dimensão ética da missão da engenharia) permite alargar a amplitude de análise, passando da micro ética para a perspetiva macro ética. A Figura 3.2 pretende ainda realçar que as diferentes competências estão inter-relacionadas e são interdependentes.

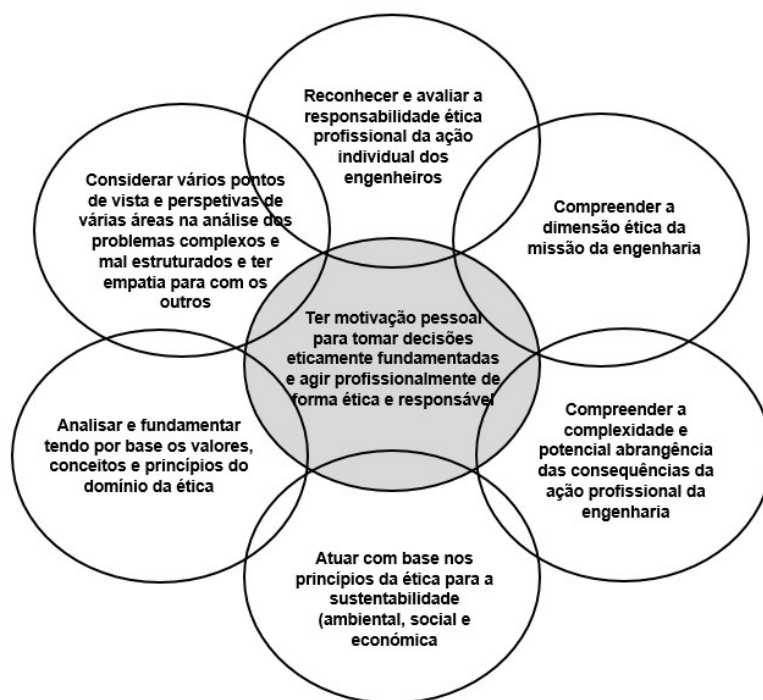


Figura 3.2 - Síntese das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia, destacando as suas inter-relações.

A organização das competências (apresentada na figura 3.3) baseou-se nos níveis de desenvolvimento moral/ético definidos por Kohlberg [145], adaptando-os como modelo de referência para a evolução da ética profissional dos estudantes. Note-se que os estudantes podem estar num nível pós-convencional de desenvolvimento moral no que diz respeito à dimensão privada/pessoal das suas vidas, e estar num nível pré-convencional no que diz respeito à dimensão ética profissional da engenharia (se a reflexão sobre a ética na engenharia não foi proporcionada antes e, por isso, não foi ainda desenvolvida). No entanto, é expectável que um estudante que se encontre num nível pós-convencional de desenvolvimento moral na dimensão privada/pessoal da sua vida tenha mais facilidade em atingir as competências (nomeadamente a competência central) do que um estudante que a nível pessoal está no nível pré-convencional ou no convencional. Por isso, é necessário que os objetivos ajudem a promover o desenvolvimento ético de todos os estudantes, incluindo aqueles que partem de uma situação mais desfavorável.

A combinação das competências éticas com os níveis de desenvolvimento moral/ético definidos por Kohlberg [145] está resumida na figura 3.3, onde se evidencia que as diversas competências podem ajudar no desenvolvimento ético dos estudantes e na desejada competência central. Por outro lado, a figura mostra uma sequência possível de aprendizagem das competências ao longo do tempo. Esta ordem visa facilitar a implementação prática do processo de ensino/aprendizagem, mas pode variar de acordo com os métodos pedagógicos a utilizar ou outros critérios. A sequência apresentada parte do básico para o mais complexo, e do exterior (imposições legais) para o objetivo de adesão e significação pessoal interior (que é um processo que necessita de tempo e de atribuição de sentido e valorização).

A localização da competência CEP_E (Analisar e fundamentar com base nos valores, conceitos e princípios do domínio da ética) também se deve ao facto de o principal problema identificado na incorporação da formação ética nos cursos de engenharia ser a desvalorização e falta de interesse dos alunos pela disciplina [113] [158]. Neste contexto, verifica-se que os alunos consideram pouco relevante a aprendizagem de conceitos no domínio da ética [159], o que levou a proposta não se iniciar com a aprendizagem deste tema, mas a proporcionar um caminho que justifique o seu estudo. Para ultrapassar o problema do desinteresse dos alunos, este tema foi incluído após um processo em que os alunos despertem para o tema e o valorizem (CEP_B) - reconhecendo que existe responsabilidade ética profissional no exercício da engenharia e que está inclusivamente legislada; os estudantes são questionados sobre para que serve a engenharia (CEP_C) e são encorajados a responder a esta complexa questão - refletir sobre a dimensão ética da engenharia; são provocados pelo confronto entre os objetivos teóricos da engenharia e as reais consequências diretas e colaterais (CEP_D) - promovendo a valorização e a importância da ética na engenharia. Após estas etapas, espera-se que os alunos já estejam mais recetivos à importância e necessidade dos conceitos éticos para a sua futura prática profissional, pelo que este tópico se localiza em resposta a esta necessidade. A inclusão

deste tópico pretende ajudar os estudantes a organizar um sistema de valores e princípios éticos, que possa facilitar a etapa da organização de acordo com a taxonomia de Bloom para o domínio afetivo [155]. A figura 3.3 apresenta as competências propostas interligando-as com os níveis de desenvolvimento moral/ético definidos por Kohlberg e a taxonomia de Bloom para o domínio afetivo.

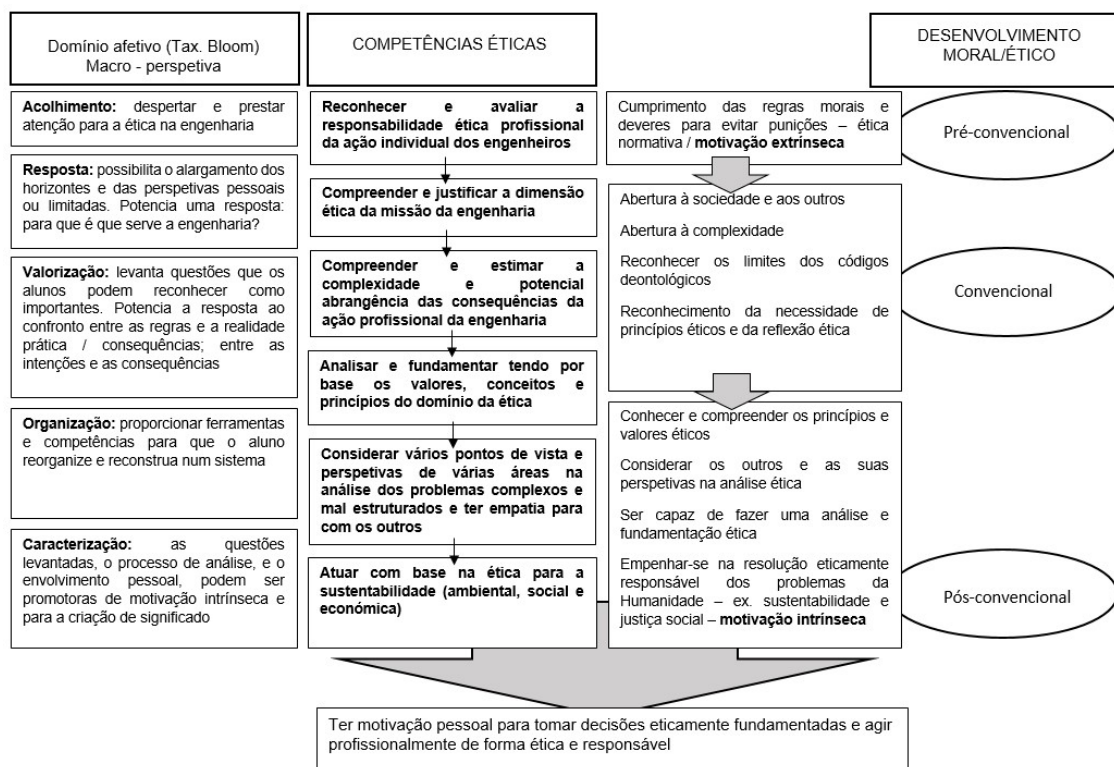


Figura 3.3 - Combinação das competências éticas com os níveis de desenvolvimento moral/ético definidos por Kohlberg e a taxonomia de Bloom para o domínio afetivo [152].

3.4.1 - Proposta de objetivos de aprendizagem

Cada uma das competências (excluindo a competência central (CEP_A)) foi analisada e desagregada com vista à definição de objetivos de aprendizagem (etapas de aprendizagem intermédias para o desenvolvimento de uma competência [151]) que permitissem desenvolver as competências pretendidas. A definição de objetivos de aprendizagem facilita a conversão do referencial em processos de ensino e aprendizagem. Na definição dos objetivos foram considerados os documentos estudados e a taxonomia de Bloom [148], quer no domínio cognitivo, quer no domínio afetivo. A tabela 3.5 apresenta os objetivos de aprendizagem propostos.

O desenvolvimento ético envolve a dimensão cognitiva e a dimensão afetiva (incluindo emoções, sentimentos e atitudes) que devem ser mobilizadas no processo de aprendizagem [146]. Segundo Bloom [155], a aprendizagem no domínio afetivo é realizada em consonância

com o domínio cognitivo e envolve 5 etapas: acolher (despertar o estudante, que em resultado desse despertar passa a prestar atenção ao tema); responder (o aluno fica predisposto a reagir ou a responder e aumenta o seu nível de atenção, e torna-se mais ativo); valorizar (o aluno passa a valorizar o tema e procura respostas para as dúvidas); organizar (o aluno organiza os valores em sistemas); caracterizar (o aluno interioriza os valores e passa a agir conscientemente em conformidade).

É provável que os diplomados em engenharia ajam de forma mais ética e responsável se se sentirem mais conscientes da dimensão ética da engenharia, das possíveis consequências das suas ações, e se se sentirem capazes de compreender e analisar eticamente uma situação, bem como de construir uma base lógica que os apoie na tomada de decisões. Por isso, e para atingir o objetivo central, todo o processo de aprendizagem contribui também para o desenvolvimento do domínio afetivo, pois foi construído de forma a promover o despertar (acolher), provocar a consciência (responder), promover reconhecimento da necessidade (valorização), fomentando o discernimento de valores e princípios éticos estruturados (o que potencia a organização) e fomentando a intenção e as ferramentas para agir eticamente (caracterização) [155].

Para promover o desenvolvimento ao nível do domínio afetivo é necessário que cada etapa do processo de aprendizagem envolva ativamente o aluno (do ponto de vista cognitivo, emocional, afetivo e até físico), para que este desperte, fique sensibilizado e valorize, reorganize a sua estrutura de valores adequando-se às novas realidades aprendidas no processo; e para que se possa mobilizar para agir de forma consciente e refletida em coerência com os valores que interiorizou [155]. Nesta linha, no referencial desenvolvido, os objetivos de aprendizagem são subdivididos numa sequência que potencia a evolução da aprendizagem desde o simples (e.g. Identificar as normas e legislação deontológica aplicada à engenharia) até ao complexo (e.g. defender/argumentar/justificar) e com um aumento progressivo da ação participativa dos alunos (passando do saber/identificar para a avaliação ou criação). Isto melhora o processo do domínio afetivo: acolher (conhecer/identificar), responder (por exemplo, explicar), valorizar (por exemplo, comparar e valorizar), organizar (defender ou justificar) e caracterizar (por exemplo, construir uma base que apoie racionalmente a tomada de decisão) [155]. A tabela 3.5 resume os objetivos de aprendizagem e apresenta uma possível classificação, usando a taxonomia de Bloom, quanto aos domínios cognitivo e afetivo.

O desenvolvimento do domínio afetivo, no referencial construído, desenvolve-se em cada uma das etapas do processo de aprendizagem/desenvolvimento associadas a cada uma das competências (conforme apresentado na tabela 3.5); mas também ao longo do macroprocesso de aprendizagem que constitui a evolução do desenvolvimento das diferentes competências (conforme apresentado na figura 3.3).

Tabela 3.5 - Síntese dos objetivos pedagógicos e possível classificação usando a taxonomia de Bloom em termos de domínios cognitivo e afetivo.

Tax. Bloom		Competências éticas					
Cognitivo	afetivo	Reconhecer e avaliar a responsabilidade ética profissional da ação individual dos engenheiros	Compreender e justificar a dimensão ética da missão da engenharia	Compreender e estimar a complexidade e potencial abrangência das consequências da ação profissional da engenharia	Analisar e fundamentar tendo por base os valores e conceitos do domínio da ética	Considerar vários pontos de vista e perspectivas de várias áreas na análise dos problemas complexos e mal estruturados e ter empatia para com os outros	Atuar com base nos princípios da ética para a sustentabilidade (ambiental, social e económica)
Recordar Compreender Aplicar Analisar Avaliar Criar	↑ acolhimento ↕ responder ↓ valorizar ↑ organizar ↓ caracterizar	Identificar as normas e legislação deontológica aplicadas à engenharia (deveres para com a comunidade, o cliente, os colegas e a profissão; e os direitos)	Identificar a missão oficial da engenharia Identificar a dependência que a sociedade contemporânea tem da engenharia	Identificar e descrever exemplos concretos de consequências positivas e negativas da ação da engenharia ao longo da história da humanidade (passado)	Identificar os valores, conceitos / princípios e perspectivas éticas	Identificar os grupos dos diversos intervenientes e potencialmente afetados perante casos concretos	Reconhecer o problema da insustentabilidade ambiental, social e económica e as suas potenciais consequências futuras
		Explicar as normas e legislação deontológica aplicadas à engenharia e as dificuldades que lhe podem estar subjacentes	Explicar como a dependência se traduz na confiança pública que a sociedade reconhece à engenharia	Explicar exemplos concretos de consequências positivas e negativas da ação da engenharia ao longo da história da humanidade (passado)	Explicar os diferentes valores, conceitos/princípios e perspectivas éticas	Explicar como é que cada grupo é potencialmente afetado	Explicar a complexidade do problema da insustentabilidade ambiental, social e económica e as suas potenciais consequências futuras
		Aplicar as normas dos códigos éticos e deontológicos a casos concretos e identificar conflitos que possam existir	Mostrar com casos concretos como se aplica a confiança pública na engenharia	Demonstrar como na contemporaneidade a ação da engenharia também pode causar impactos negativos e positivos (presente)	Aplicar a linguagem, os valores, conceitos e perspectivas éticas a casos concretos de forma adequada	Aplicar a casos concretos da ação da engenharia passados, presentes e futuros	Demonstrar a dimensão ética da insustentabilidade /sustentabilidade
		Analisar casos práticos (incluindo conflitos) do ponto de vista da responsabilidade ética profissional individual (diferenciar, comparar)	Analisar os conceitos de “melhorar as condições de vida da Humanidade” e de “confiança pública” e identificar a sua dimensão ética	Comparar ações atuais da engenharia e as suas potências consequências com casos relativos ao passado	Diferenciar, comparar e explicar casos práticos tendo em conta os conceitos /perspetivas éticas estudadas e usando a linguagem do domínio da ética	Comparar e atribuir valoração às diferentes perspetivas	Analisar as causas para o problema da insustentabilidade e estabelecer relações causa-efeito
		Defender/argumentar/justificar com base nas normas e legislação, perante casos concretos	Justificar porque é que a engenharia é uma profissão de confiança pública, logo tem uma forte componente ética	Debater e ponderar (valorar) as consequências justificando a sua posição sobre os benefícios/malefeícios de determinada ação	Defender e justificar uma determinada posição ética perante casos práticos ou teóricos usando os conceitos éticos estudados e a linguagem do domínio da ética	Justificar a sua decisão final sobre a dimensão ética de uma ação da engenharia analisada	Avaliar o papel da engenharia no problema da insustentabilidade / sustentabilidade
		Resumir os princípios deontológicos aplicadas à engenharia e os conflitos que podem ocorrer	Combinar os limites dos códigos deontológicos com a dimensão ética da missão da engenharia - explicar porque é que os códigos deontológicos são importantes, mas insuficientes	Formular antevisões fundamentadas para possíveis consequências futuras (positivas e negativas) da ação da engenharia	Combinar os conceitos éticos e a sua linguagem com exemplos concretos de consequências positivas e negativas da ação da engenharia e da sua missão para construir fundamentações éticas	Propor alterações à ação da engenharia (analisada) para ter em conta os interesses de todos os potencialmente afetados e minorar os seus efeitos negativos, tendo em conta a linguagem da ética e a missão da engenharia	Construir a proposta de um referencial ético para a engenharia com vista à sustentabilidade (ambiental, social e económica)

Para atingir a competência central CEP_A (Ter motivação pessoal para tomar decisões eticamente fundamentadas e agir profissionalmente de forma ética e responsável) é desejável que o estudante atinja o nível de caracterização (do ponto de vista da taxonomia de Bloom para o domínio afetivo [155]) e o nível de desenvolvimento moral/ético pós-convencional [145]. Para isso, é necessário que durante o processo educativo o estudante atribua significado, valorize e interiorize as aprendizagens, promovendo o desenvolvimento da motivação intrínseca. Pelo que o aluno deve estar ativamente envolvido e comprometido com o processo de aprendizagem. Para estes objetivos, as metodologias pedagógicas ativas são a opção mais adequada, pois promovem o envolvimento ativo dos alunos no processo de aprendizagem [160].

O enquadramento apresentado deverá ser adaptado em função do ano letivo em que se insere a formação ética (uma vez que isso está relacionado com o nível de formação e maturidade dos estudantes) e com o tempo de formação disponível para a formação ética, porque o tempo dedicado ao processo pode influenciar a possibilidade de atingir os objetivos definidos.

Para ilustrar a aplicabilidade do referencial desenvolvido, na tabela 3.6 apresenta-se um possível plano resumido para a sua aplicação a uma unidade curricular de formação ética em engenharia. O referencial foi aplicado a uma unidade curricular (dedicada exclusivamente à formação ética) a ser inserida num curso de engenharia eletrotécnica e de computadores. O plano foi desenvolvido para 15 semanas de aulas tendo por referência a licenciatura lecionada no ISEC, e foi aplicado à unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia, lecionada no curso de licenciatura em engenharia eletrotécnica e de computadores do ISEC.

Tabela 3.6 - Possível plano resumido para as aulas de uma unidade curricular de formação ética de um curso de engenharia eletrotécnica e de computadores, que resultou da aplicação do referencial desenvolvido.

Aula	Competência	Objetivos Pedagógicos	Sugestões de orientações para as aulas
1	Reconhecer e avaliar a responsabilidade ética profissional da ação individual dos engenheiros	Identificar os princípios éticos e a legislação aplicada à engenharia (direitos e deveres para com a comunidade, o cliente, os colegas e a profissão).	Aprendizagem baseada em jogos: jogo de tabuleiro (tipo Escape Room) para motivar/sensibilizar/ descobrir - conhecer os códigos deontológicos [161] - uma ferramenta para este fim é proposta no capítulo 4
2		Explicar as regras e a legislação deontológica aplicadas à engenharia e as dificuldades da sua aplicação. Aplicar as normas dos códigos éticos e deontológicos a casos concretos e identificar conflitos que possam existir. Analisar casos práticos (incluindo conflitos) do ponto de vista da responsabilidade ética profissional individual (diferenciar, comparar).	Cada grupo construirá um argumento para defender ou acusar uma das personagens do jogo: são culpados de comportamento pouco ético ou não? Que códigos foram infringidos? Existem conflitos nos códigos? Porquê? Argumentar por escrito com base nos códigos deontológicos (trabalhos de grupo acompanhados pelo docente).
3		Defender/argumentar/justificar com base em normas e legislação, em casos específicos. Resumir os princípios deontológicos aplicados à engenharia e os conflitos que podem ocorrer.	Apresentações de cada grupo e decisão final por votação ou discussão geral e esclarecimento de dúvidas + debate. Escrever um resumo dos aspetos mais importantes dos códigos éticos e dos conflitos que podem existir.

4	Compreender e justificar a dimensão ética da missão da engenharia	Identificar a missão da engenharia. Identificar a dependência que a sociedade contemporânea tem da engenharia. Explicar como a dependência se traduz na confiança pública que a sociedade reconhece na engenharia. Mostrar com casos concretos como a confiança pública se aplica à engenharia. Analisar os conceitos de “confiança pública” e identificar a sua dimensão ética.	Micro-atividades com recurso a plataforma digital incluindo redes sociais - pesquisar / formar opinião / escrever (breve) texto / apresentar diapositivos / partilhar / debater sobre os seguintes desafios: - Vou ser engenheiro/a: para que serve a engenharia? - A engenharia é importante na vida das pessoas: exemplificar essa importância. - As pessoas confiam plenamente e dependem da engenharia: o que é a confiança pública? - Descobrir a missão oficial da engenharia.
5		Analisar os conceitos de “melhorar as condições de vida da Humanidade” e de “confiança pública” e identificar a sua dimensão ética. Justificar porque é que a engenharia é uma profissão de confiança pública, pelo que tem uma forte componente ética. Conjuguar os limites dos códigos deontológicos com a dimensão ética da missão da engenharia - explicar porque é que os códigos deontológicos são importantes mas insuficientes.	- A missão de acordo com as Ordens profissionais - O que significa “melhorar a vida da humanidade”? - “melhorar” está relacionado com a ética - Os códigos éticos são suficientes? Dar exemplos das suas limitações
6	Compreender e estimar a complexidade e o potencial alcance das consequências da ação profissional da engenharia	Identificar e descrever exemplos concretos de consequências positivas e negativas da ação da engenharia ao longo da história da humanidade (passado). Explicar exemplos concretos de consequências positivas e negativas da ação da engenharia ao longo da história da humanidade (passado).	A engenharia cumpriu/cumprir a sua missão? Debate: - Exemplos de coisas que a engenharia já fez; identificar consequências positivas e negativas que resultaram da engenharia em geral e da área específica. - Análise de 1 caso: O exemplo da produção em linha de montagem da Ford, que quase levou à extinção do povo Zápara e relacionar com conceitos gerais de automação/produção industrial/gestão industrial.
7		Demonstrar como, na contemporaneidade, a ação da engenharia pode também provocar impactos negativos e positivos (presentes). Comparar as ações de engenharia atuais e as suas possíveis consequências com casos relacionados com o passado. Debater e valorizar as consequências, justificando a posição sobre os benefícios/prejuízos de determinada ação. Formular previsões bem fundamentadas para possíveis consequências futuras (positivas e negativas) da ação de engenharia.	Debater passado, presente e futuro em relação às seguintes questões: - Os problemas só existiram no passado? Identifique casos atuais de efeitos positivos e negativos. - Justificar a posição sobre os benefícios/prejuízos de uma determinada ação identificada na atualidade - Quais serão as consequências para o futuro? Exemplos de casos de estudos: telemóveis, internet, automação industrial, vários métodos de produção de energia elétrica, IA, veículos elétricos (...) - Identificar possíveis consequências positivas e negativas (no presente e no futuro) de cada tecnologia.
8	Analisar e fundamentar com base nos valores, conceitos e princípios do campo da ética	Identificar valores, conceitos/princípios e perspetivas éticas. Explicar os diferentes valores, conceitos/princípios e perspetivas éticas. Diferenciar, comparar e explicar casos práticos tendo em conta os conceitos/perspetivas éticas estudadas e utilizando a linguagem da área da ética. Defender e justificar uma determinada posição ética perante casos práticos ou teóricos utilizando os conceitos éticos estudados e a linguagem do campo da ética.	Apresentar e debater: - Como decidir se uma determinada tecnologia é benéfica ou não? A necessidade de justificação ética. - Valores éticos: exemplos teóricos e práticos. Apresentar 4 perspetivas éticas: ética da virtude, ética do dever, ética utilitarista, subjetivismo ético. - A ética do filósofo Tomás de Aquino. - O caso dos “padeiros”: o papel da intenção - debate. - Caso do “naufrágio no rio” / intenção versus consequências.
9		Aplicar a linguagem, os valores, os conceitos e as perspetivas éticas a casos concretos de forma adequada. Combinar os conceitos éticos e a sua linguagem com exemplos concretos de consequências positivas e negativas da	Pesquisar sobre um caso prático de engenharia (telemóveis, internet, automação industrial, vários métodos de produção de energia elétrica, IA, veículos elétricos, etc), vendo-os através de cada uma das diferentes perspetivas éticas.

		ação da engenharia e da sua missão - construir uma argumentação lógica ética.	Tomar uma decisão sobre um caso prático, fundamentando com base em cada perspectiva.
10	Considerar vários pontos de vista e perspectivas de diversas áreas ao analisar problemas complexos e mal estruturados e ter empatia pelos outros	Identificar os grupos das diferentes partes interessadas e potencialmente afetadas em casos específicos. Explicar como é que cada grupo é potencialmente afetado. Aplicar a casos concretos de ações de engenharia passadas, presentes e futuras. Comparar e atribuir valor às diferentes perspectivas.	Analisar 1 caso real (exemplo: redes inteligentes, contadores inteligentes): Identificar pessoas, grupos ou a natureza como possivelmente diretamente /indiretamente afetados (no presente e no futuro). Identificar as possíveis potenciais consequências para cada grupo. Identificar os valores éticos em jogo nas possíveis escolhas. Atribuir pesos a cada valor e comparar.
11		Justificar a decisão final sobre a dimensão ética da ação da engenharia analisada. Propor alterações à ação de engenharia (analisada) para ter em conta os interesses de todos os potencialmente afetados e mitigar os seus efeitos negativos, tendo em conta a linguagem da ética e a missão da engenharia.	Tomar uma decisão e escrever uma justificação baseada nos princípios éticos estudados para um dos casos práticos analisados. Propor medidas para minimizar/mitigar possíveis efeitos negativos justificando com base em valores éticos.
12	Atuar com base nos princípios da ética para a sustentabilidade (ambiental, social e económica)	Reconhecer o problema da insustentabilidade ambiental, social e económica e as suas potenciais consequências futuras.	Jogo de tabuleiro sobre sustentabilidade para motivar/consciencializar/descobrir [162]
13		Explicar a complexidade do problema da insustentabilidade ambiental, social e económica e as suas potenciais consequências futuras. Demonstrar a dimensão ética da insustentabilidade/ sustentabilidade.	Debate: - Complexidade do problema: quais as causas? - Quais as consequências? - A dimensão ética da (in)sustentabilidade - Apresentar os princípios da ética da responsabilidade de Hans Jonas. Apresentar, defender, debater e partilhar conclusões: - A sustentabilidade e a ética estão ligadas?
14		Analisar as causas do problema da insustentabilidade e estabelecer relações de causa-efeito. Avaliar o papel da engenharia no problema da insustentabilidade/sustentabilidade.	Analisar, apresentar e debater: - O papel da engenharia na (in)sustentabilidade. - Como a tecnologia altera o comportamento das pessoas + o “rebound effect”.
15		Construir uma proposta de referencial ético para a engenharia com vista à sustentabilidade (ambiental, social e económica)	Fundamentar a decisão num caso prático (automação industrial, diferentes métodos de produção de energia elétrica, métodos de armazenamento de energia elétrica, veículos elétricos, redes inteligentes, ...), baseado na ética para a sustentabilidade. Construir uma proposta coletiva de um referencial ético para a engenharia com vista à sustentabilidade.

3.5 - Conclusões do capítulo

Este capítulo incide sobre as competências que a formação ética em cursos de engenharia deverá promover. Neste sentido, o capítulo apresenta o estudo implementado que teve como objetivo desenvolver um referencial das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia, que incentivem o exercício profissional responsável a nível ético e para a promoção da sustentabilidade.

A revisão da literatura e a análise de documentos que regulam a dimensão ética do exercício profissional da engenharia, permitiram identificar um conjunto de competências éticas que

sintetizam o que os diplomados em engenharia necessitam para estarem preparados para o exercício profissional da engenharia. Estas competências permitiram identificar inter-relações entre as várias competências e organizar uma sequência possível para estruturar a sua aprendizagem. Para tal, foi definida uma possível sequência de objetivos de aprendizagem com vista ao desenvolvimento de cada competência. Na construção do referencial foi também considerada a principal dificuldade identificada no ensino da ética em engenharia (desvalorização da ética na prática da engenharia [113]), bem como a taxonomia de Bloom [148] na sua dimensão cognitiva e afetiva, e os níveis de desenvolvimento moral/ético [145].

O referencial proposto contribui para responder a uma lacuna que foi identificada na literatura, relativa à falta de referências para as competências éticas que a formação ética em engenharia deve promover [93]. Contribui também para tornar a formação ética menos abstrata, pois ser abstrato é visto como um problema para uma área como a engenharia, que é muito objetiva [158]. Ao contribuir para facilitar a implementação da formação ética em engenharia, contribui para uma prática profissional da engenharia eticamente mais responsável, uma vez que torna os estudantes mais conscientes da dimensão ética do exercício profissional da engenharia.

Pode concluir-se que o referencial desenvolvido permite sistematizar e interligar competências éticas, o que pode promover e facilitar a inclusão da formação ética nos cursos de engenharia. Ao contribuir para facilitar a implementação da formação ética em engenharia, contribui para uma prática profissional da engenharia eticamente mais responsável, uma vez que torna os estudantes mais conscientes da dimensão ética do exercício profissional da engenharia. A aplicação do referencial permitiu estruturar uma unidade curricular de um curso de engenharia eletrotécnica.

O referencial construído é uma ferramenta que poderá ser muito útil aos professores de ética nos cursos de engenharia, aos responsáveis pela construção dos planos curriculares dos cursos de engenharia e poderá também contribuir para a valorização desta área do ensino da engenharia.

Capítulo 4

Atividades pedagógicas para formação ética em unidade curricular específica

"It is even conceivable that engineers may one day be asked in some formal way to determine the well-being impact of their work, just as they are often asked to determine the environmental impact." C. Harris, M. Pritchard, R. James, E. Englehardt, M. Rabins, "Engineering ethics: concepts and cases", CENGAGE, 2019

O papel determinante que a engenharia tem na sociedade, quer ao nível da sua organização e inter-relações, quer ao nível dos comportamentos individuais e coletivos, ou ainda na sua relação com o meio ambiente, motivou a necessidade de incluir formação ética nos cursos de engenharia com o objetivo de promover a responsabilidade dos seus profissionais [37]. Os potenciais perigos que podem resultar da ação individual ou coletiva dos profissionais da engenharia também são motivo para a necessidade de incorporar formação ética no ensino da engenharia, quer na perspetiva macro ética, quer micro ética [47].

Perante a importância e necessidade da formação ética ser incluída nos cursos de engenharia, urge a necessidade do desenvolvimento de instrumentos pedagógicos adequados a esta componente de formação [14]. É neste âmbito que se justifica a proposta das atividades pedagógicas descritas neste capítulo, e da avaliação da sua eficácia pedagógica. Os resultados alcançados poderão constituir um valioso contributo para a promoção da formação ética dos estudantes de engenharia, e em particular dos de engenharia eletrotécnica. As ferramentas pedagógicas desenvolvidas e testadas poderão constituir um recurso importante para os docentes que em Portugal se dedicam à formação ética na engenharia.

Também se espera poder contribuir para esta área de formação a nível internacional, uma vez que as ferramentas desenvolvidas deram origem a artigos que foram publicados em revistas internacionais (Journal of Applied Research in Higher Education e The Journal of Environmental Education).

Em reforço do importante contributo que as ferramentas desenvolvidas poderão trazer à área da formação ética nos cursos de engenharia (nomeadamente eletrotécnica), destaca-se o prémio “Novas Fronteiras da Engenharia - Edição 2024” promovido pela Ordem dos Engenheiros - Região Centro na categoria “Docentes do Ensino Superior” que foi atribuído ao artigo “Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering” (publicado no Journal of Applied Research in Higher Education) onde se descreve uma das ferramentas desenvolvidas e os resultados obtidos com a sua aplicação em contexto de aula.

Neste presente capítulo apresenta-se o desenvolvimento de três atividades pedagógicas com vista a responder à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?) na vertente das unidades curriculares específicas de formação ética (dedicada especificamente à formação ética - Q2.1), bem como a análise dos seus resultados. Uma vez que dois destes trabalhos foram publicados em revistas internacionais, o ponto 4.1 e o ponto 4.2 correspondem, respetivamente, aos artigos:

- Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering. Journal of Applied Research in Higher Education, 16 (4), 1029-1041. <https://doi.org/10.1108/JARHE-02-2023-0056>
- Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). An educational board game to promote the engagement of electric engineering students in ethical building of a sustainable and fair future. The Journal of Environmental Education, 55, (2), 138-152, DOI: 10.1080/00958964.2023.2259832

Duas das atividades pedagógicas desenvolvidas foram aplicadas numa unidade curricular específica de formação ética lecionada no 2º ano da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do ISEC. Foi também desenvolvida uma atividade pedagógica adequada para formação com grandes turmas e para consolidação de conhecimentos.

As atividades pedagógicas desenvolvidas foram jogos educativos, pelo que se apresenta o conjunto de passos usados para o seu desenvolvimento e que constituem orientações de apoio ao desenvolvimento de jogos educativos:

1º passo: identificar uma dificuldade de aprendizagem que se pretende resolver ou uma competência que se pretende promover

2º passo: definir qual a intencionalidade pedagógica para o uso do jogo

- Mobilizar / Motivar / Sensibilizar
- Ensinar / Aprender
- Consolidar / Treinar / Aplicar

3º passo: definir o tipo de jogo tendo em conta:

- O tempo disponível para a sua aplicação e desenvolvimento
- Será obrigatório ou facultativo?
- Os estudantes jogam em simultâneo ou desfasados?

- Será digital ou de tabuleiro?
- É jogado individualmente ou em grupo?
- Será simbólico ou “realista” (ex. “Jogo das Damas” / “Role playing”)?
- Quais os recursos disponíveis (financeiros, materiais e pessoas)

4º passo: escolher um tipo de jogo já existente para adaptar ou criar um (para facilitar este passo pode ser usado o estudo de [163] ou de [164])

5º passo: implementar o jogo

6º passo: aplicar o jogo

7º passo: avaliar os resultados do jogo (jogabilidade, resultados de aprendizagem, reação dos estudantes, adequabilidade ao objetivo pedagógico pretendido)

8º passo: se necessário, ajustar o jogo em função dos resultados.

Para ajudar na escolha do tipo de jogo, apresenta-se na tabela 4.1 uma síntese de possíveis tipos de jogos em função dos objetivos pedagógicos e intencionalidade pedagógica.

Tabela 4.1 - Síntese de possíveis tipos de jogos a usar em função dos objetivos pedagógicos e intencionalidade pedagógica.

Intencionalidade pedagógica	Altura / local de aplicação	Objetivo pedagógico geral do jogo		Exemplos de mecânicas de jogos
Mobilizar Motivar Sensibilizar	O jogo deve ser usado no início da UC ou dos conteúdos a estudar	Descobrir Espicaçar Surpreender	Destabilizar Despertar a curiosidade ...	Jogos de estratégia Programação de Ações e Movimento Contar História Simulação
Ensinar Aprender	O jogo deve ser usado a meio da UC ou da aula como atividade central da aprendizagem	Explicar Compreender Demonstrar Explicar Associar	Conhecer Compreender Demonstrar Parafrasear Relacionar ...	Jogos cooperativos Jogo de construção por cartas Jogo de Negociação Alocação de Trabalhadores Construção de Rotas/redes
Consolidar Treinar Aplicar	O jogo deve ser usado no final da UC ou da aula/ ou fora da sala se é um complemento à aprendizagem	Memorizar Aplicar Repetir Utilizar Implementar	Modificar Experimentar Calcular Demonstrar Classificar ...	Jogos repetitivos Jogo de memória Reconhecer Padrões Jogo de Sorte Jogo de perguntas

Para potenciar os resultados de aprendizagem é necessário enquadrar o jogo numa atividade pedagógica / processo pedagógico [164] que deve incluir um debate após o jogo para consolidação das aprendizagens e/ou para o esclarecimento de eventuais dúvidas que tenham persistido e pode incluir um enquadramento ou uma preparação anterior ao jogo (o que pode não acontecer se o objetivo é despertar para ou introduzir um determinado assunto).

Num jogo educativo não devem ser usadas mecânicas de jogo que impliquem a eliminação de jogadores, uma vez que o objetivo do jogo é a aprendizagem, pelo que se pretende que os jogadores permaneçam no jogo até ao fim (isto é, até ao fim do processo de aprendizagem).

As pontuações e a competitividade também não são o elemento central de um jogo educativo, pelo que devem ser usadas apenas para garantir a motivação necessária ao iniciar do jogo e a manter o empenho e interesse no jogo: deve-se privilegiar uma motivação intrínseca e não extrínseca (o que ocorre quando a motivação se sustenta na competitividade ou no objetivo de ganhar pontos) [164]. Tendo em conta estes princípios e os passos atrás referidos, foram construídos três jogos educativos que se descrevem nos pontos 4.1, 4.2 e 4.3.

4.1 - Atividade pedagógica para cativar os estudantes para a formação ética em engenharia

Nas últimas décadas, reconheceu-se que há necessidade de inovações pedagógicas no ensino superior. Considerando o contexto do ensino superior, a inovação pedagógica pode ser definida como uma mudança intencional que pretende introduzir novas práticas pedagógicas com o objetivo de melhorar a aprendizagem, a interação ou a interatividade num processo de ensino/aprendizagem [165]. As principais características da inovação pedagógica no ensino superior são [166]:

- ter intencionalidade pedagógica;
- ter reflexão/introspeção:
 - no processo de identificação da necessidade,
 - na procura de uma forma de a resolver,
 - durante o desenvolvimento e a sua aplicação;
- incluir a criatividade inventiva na construção de alguma nova ferramenta ou metodologia;
- resultar numa melhoria;
- incluir a sua aplicação e avaliação;
- e envolvem relações humanas pedagógicas.

Segundo [167], as inovações pedagógicas: promovem a aprendizagem e o profissionalismo dos alunos; mudam o comportamento e as atitudes dos estudantes, incluindo as competências interpessoais e a ética profissional [168]; melhoram a satisfação dos professores, permitindo-lhes reinventar as suas práticas pedagógicas; e contribuem para o brio das instituições de ensino superior. O reconhecimento da necessidade de criar e desenvolver novas metodologias e ferramentas pedagógicas, por parte dos professores, é um elemento chave para promover a inovação pedagógica no ensino superior. É o reconhecimento desta necessidade que dá sentido à inovação pedagógica e ao esforço que o processo de procura, criatividade e experimentação implica. Este reconhecimento estimula os professores e motiva-os para a mudança [169] e orienta-os na análise dos resultados obtidos, uma vez que a inovação pedagógica parte de uma necessidade e por isso tem objetivos concretos que pretende alcançar. Dependendo da perceção do professor sobre os resultados obtidos, o professor decidirá se adota ou não a

inovação pedagógica na sua prática letiva [170]. Para tal, é importante recolher dados sobre a percepção dos alunos sobre a inovação pedagógica; mas também é necessário compreender a percepção do professor sobre a nova prática pedagógica.

4.1.1 - A necessidade de inovação pedagógica no ensino da ética em engenharia

É habitualmente reconhecido que a engenharia é uma das profissões com maior impacto na vida da sociedade e na vida de cada indivíduo. É também uma das áreas do conhecimento que desempenhou um papel importante na evolução da sustentabilidade e poderá desempenhar um papel importante no desenvolvimento da sustentabilidade ou da insustentabilidade. Smith, Butler e LeBold [171, p. 6] defendem que “In our technological society the engineer is one of the most powerful agents for change. Engineers are finding new ways to control our environment, to utilize the forces of nature, to increase our productivity, and to improve the quality of life for all. [...] The power they will hold makes engineering an exciting prospect, as well as a sobering responsibility.”.

O compromisso com a busca da sustentabilidade está enraizado no compromisso e na ação ética e responsável “[s]ince the idea of sustainability is at its core that of a protective relationship towards nature and humankind extending beyond the present to future generations, sustainability always implies ethical standards [...] the principle of sustainability seems to be an ethical principle that focuses on responsibility for and justice towards succeeding generations.” [172]. Becker [173] afirma que a dimensão ética é crucial para a sustentabilidade (“sustainability has an inherent ethical dimension and denotes a fundamental ethical issue.”), mas isso é muitas vezes ignorado ou mal compreendido. Comprometer-se com a sustentabilidade significa procurar eticamente o bem-estar público. No entanto, vários estudos mostram que os estudantes de engenharia tendem a desvincular-se do “public welfare and their moral reasoning decreases throughout their engineering studies” and “tend to have declining beliefs about the importance of public welfare” [115].

Perante isto, é necessário que os engenheiros exerçam a sua profissão com responsabilidade ética, sentido reflexivo e crítico, empenho, pró atividade e criatividade. Para tal, é necessário um ensino de engenharia mais abrangente que inclua uma dimensão social, ambiental, ética, reflexiva e criativa, que muitas vezes está ausente dos seus planos curriculares [123]. É necessário promover um ensino da engenharia mais abrangente e que inclua a dimensão ética, quer na sua dimensão da ação individual (micro ética), quer na dimensão do bem-estar público (macro ética). Estas duas dimensões são necessárias aos profissionais de engenharia [101].

É um desafio promover uma formação académica que promova um compromisso ético pessoal e a responsabilidade ética esperada dos diplomados em engenharia, juntamente com a visão ampla de que a engenharia contemporânea necessita [115]. Como no passado as

competências reconhecidas como necessárias aos diplomados em engenharia eram consideravelmente diferentes, é necessário promover uma mudança nos planos curriculares e nos métodos pedagógicos. Alguns estudiosos da área do ensino da engenharia acreditam que é essencial e urgente mudar o ensino da engenharia, incluindo a incorporação da formação ética [33]; promover a alegria e o prazer no estudo e na prática da engenharia; a promoção de relações pedagógicas centradas na confiança e na responsabilidade; e a abertura e o envolvimento responsável na resolução dos problemas da sociedade [112]. De entre estes aspetos, destaca-se a responsabilidade ética, porque é um elemento vital que está subjacente a todas as atividades de engenharia.

Em Portugal os alunos consideram os cursos de engenharia difíceis [174]. Para os estudantes, as instituições e os professores cultivam a visão dos cursos de engenharia como difíceis [175]. Várias declarações de estudantes indicam um desacordo com as formas tradicionais de ensino da engenharia em Portugal [175]. Mesmo entre os alunos que ingressaram com médias de acesso mais elevadas, há queixas sobre a forma como a engenharia é ensinada. Segundo alguns testemunhos, isto tem levado a elevadas taxas de abandono, transferência de curso ou experiências de sofrimento e desilusão [175], acusando as instituições de “manterem a tradição, manterem os métodos de ensino e não se preocuparem com o lado dos alunos” [175]. Esta visão do ensino da engenharia poderá justificar o facto dos estudantes de engenharia serem os que demoram mais tempo a terminar os seus cursos [176].

Um inquérito realizado em 2022 [174] mostrou que numa das maiores e mais reconhecidas instituições portuguesas de ensino de engenharia, 60% dos alunos estavam em risco psicossocial. O estudo realizado por Santos [177] mostra que os estudantes de engenharia apresentam comportamentos de maior risco quando se trata de saúde mental. O risco psicológico é definido como a condição resultante das interações, da gestão, da organização e do ambiente onde se desenvolve a atividade (por exemplo, profissional) que potencialmente pode causar problemas de saúde (problemas físicos ou mentais) [178]. Os riscos psicossociais aumentam, por exemplo, com o agravamento do stress no local de trabalho e estão relacionados nomeadamente com a insatisfação com a atividade que desenvolvem; com elevada carga de trabalho e esforço; com excesso de responsabilidade; ou com expectativas pouco claras sobre o desempenho desejável [178]. Estes problemas não são exclusivos da educação portuguesa e afetam também outros países [179] [180] [181] [182].

Outro indicador de problemas é a tendência dos estudantes de engenharia para se envolverem em fraude académica (estudo relativo a Portugal), o que parece resultar da perceção que os estudantes têm sobre o grau de dificuldade do curso e da dificuldade em cumprir todas as tarefas [109]. A crença de que os cursos de engenharia são difíceis também pode contribuir para dissuadir potenciais candidatos a estes cursos, exemplo disso pode ser visto na diminuição de candidatos aos cursos de engenharia eletrotécnica [183] apesar da sua

elevada empregabilidade e disponibilidade de vagas. A diminuição da procura deste curso também ocorreu noutros países [184].

Para Goldberg e Somerville [112], é essencial revolucionar o ensino da engenharia para ultrapassar os problemas que foram identificados. Para estes autores, a mudança deverá promover o gosto pela profissão e pela área, o que contribuirá para melhorar o gosto e compromisso dos estudantes com o seu próprio percurso académico, aumentando a curiosidade, o envolvimento, o sucesso e o bem-estar dos estudantes. Estes autores chamam ainda a atenção para o papel da alegria e do prazer em estudar engenharia, o que poderá ajudar os estudantes a suportar melhor alguns esforços e a ultrapassar dificuldades durante o percurso académico, mas também na sua futura prática profissional. Face a este contexto, é necessário e importante desenvolver a inovação pedagógica para melhorar o ensino da engenharia e promover, em particular, o gosto dos estudantes pela área e pela aprendizagem, bem como a sua responsabilidade ética profissional. O presente estudo centra-se no ensino da ética na engenharia.

No Japão, a formação ética no ensino da engenharia tem sido uma prática recomendada desde a década de 90 [75] e pelo menos desde 2000 nos EUA [185] [186]. Além disso, a formação ética tem vindo a ser progressivamente alargada a outros países [75]. No entanto, ainda está ausente em alguns países e é considerada muito difícil de aplicar na prática [14]. Segundo Martin, Conlon e Bowe [115] “engineering instructors highlight the lack of guidance and training on how to teach ethics”. Estes autores identificaram vários métodos pedagógicos para o ensino da ética em engenharia: palestras, apresentações, role playing, debates, discussões, jogos, filmes ou vídeos de ficção científica, voluntariado, visitas de estudo e estudos de caso. O método mais utilizado são os estudos de caso, embora existam poucas evidências sobre a eficácia de cada método, quer na aprendizagem dos alunos, quer no seu compromisso e envolvimento [187]. Young et al. [188] afirmam que a utilização de estudos de caso normalmente se baseia apenas em casos da área da micro ética, e que a resposta é muitas vezes óbvia, pois são casos simplificados em comparação com a realidade. Outros autores salientam ainda que a eficácia da utilização de estudos de caso ou de outras metodologias ainda tem de ser investigada [189].

Estudos indicam que, mesmo quando a educação ética está incluída nos cursos de engenharia, tende a ser negligenciada por professores e alunos [113]. Os alunos tendem a pensar que se trata de uma componente muito teórica e pouco útil para a sua vida prática profissional [33]. Isto resulta em parte das mensagens ouvidas pelos professores e colegas ao longo do curso [113], mas também pela dificuldade que os alunos têm em perceber a importância desta dimensão da formação [115].

Vários estudos [115] identificaram que um dos maiores desafios no ensino da ética em engenharia é a falta de empenho e interesse por parte dos alunos, pois “[s]tudents tend to show disinterest, resistance, and difficulties when exposed to ethics and societal

considerations [...] as well as a lack of emotional engagement with the course content” [115]. A ferramenta pedagógica apresentada neste ponto faz parte do esforço para promover o interesse dos alunos pela formação ética e o seu envolvimento no processo de formação.

Em Portugal, o ensino da ética está ausente na maioria dos cursos de engenharia [123]. O facto de existir uma tendência para negligenciar esta componente de formação pode ter impacto na aprendizagem dos alunos, mas também no entusiasmo e empenho dos professores. Isto também justifica a necessidade de inovação pedagógica no ensino da ética na engenharia.

O presente estudo nasceu da insatisfação de uma docente de uma unidade curricular de ética de um curso de engenharia eletrotécnica (em Portugal) com a desvalorização desta componente de formação, tanto por parte da maioria dos restantes docentes, como por parte da maioria dos alunos. Perante tal, a docente considerou a necessidade de incorporar inovação pedagógica na unidade curricular de formação ética para ajudar a resolver as dificuldades identificadas. Embora o presente estudo tenha sido aplicado em Portugal e a um curso de engenharia eletrotécnica e de computadores, estes problemas também afetam outros países [113]. Por isso, este estudo também pode ser útil para outros países e outros cursos de engenharia onde a formação ética esteja incluída. Segundo Arestova e Rusina [190], é difícil introduzir métodos ativos de ensino/aprendizagem no ensino da engenharia eletrotécnica, o que aumenta a importância do presente estudo que foi aplicado a estudantes de engenharia eletrotécnica.

4.1.2 - Utilização de jogos no ensino da ética na engenharia

O uso de jogos educativos (aprendizagem baseada em jogos) é um método ativo de ensino/aprendizagem. As suas vantagens podem ser resumidas em [191]:

- Aumenta a motivação e o empenho ativo dos estudantes
- Aumenta a alegria e prazer na aprendizagem
- Aumenta o entusiasmo dos docentes
- Aumenta a interação entre estudantes e entre estudantes e docentes
- Desperta a curiosidade
- Envolve a dimensão cognitiva, o corpo e as emoções, o que potencia a motivação intrínseca, a curiosidade, a atribuição de sentido; para além de potenciar uma maior retenção a longo prazo.

As principais desvantagens desta metodologia são:

- Demora muito tempo a desenvolver e aprimorar os jogos
- A sua aplicação é mais demorada do que a opção tradicional (expositiva) ou do que outros métodos ativos (ex. Interactive Lecture)
- Não se adequa a todos os tópicos/conteúdos

- Alguns docentes podem ter dificuldades em se adaptar ao método.

Para Lloyd e van de Poel [191], os jogos são mais relevantes para a formação ética se envolverem uma dimensão prática (saber fazer), se forem colaborativos e se houver um debate complementar sobre os temas e os comportamentos abordados durante o jogo. Estes autores identificaram que o uso de jogos na formação ética é mais comum nas áreas empresariais.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos vários jogos para utilização no âmbito da formação ética, nomeadamente:

- The Engineering Ethics Challenge [192]: um jogo de tabuleiro (como o “Snakes and Ladders”) em que cada grupo define uma questão ética e as suas possíveis soluções e decide depois qual delas considera correta; em seguida, há um debate sobre a resposta correta. Caso o grupo acerte, avança no jogo. Centra-se na micro ética e promove a prática da análise ética de estudos de caso com base em códigos deontológicos. Este jogo foi também testado num curso de engenharia eletrotécnica [186];
- Jogo de tabuleiro Delta Design Ethical Scenario (adaptado do jogo Delta Design [193] com uma expansão sobre a ética) que é usado para promover a formação ética a alunos de engenharia de design industrial [191]. O foco do jogo é a promoção do design ético.
- BLOCKS [194] é um jogo baseado no desastre do vaivém Challenger - neste jogo, os alunos têm de construir (sob pressão) uma frase a partir de blocos coloridos, mas estão sujeitos a restrições que dificultam a sua construção. O jogo foi aplicado com estudantes de engenharia química.
- Xenos e Velli [195]) criaram o Ethics Game, que é um jogo digital mantido numa plataforma comercial de narrativas, e o jogo é baseado em dilemas éticos. Este jogo foi aplicado a estudantes de engenharia informática e está focado na micro ética e nos códigos deontológicos.
- Reed [196] pesquisou a utilização de 3 jogos diferentes para a formação ética a alunos do 1º ano de engenharia:
 - Cards Against Engineering Ethics - jogo de cartas em que os jogadores escolhem a entidade (cartas pré-definidas) responsável por um determinado evento. Algumas entidades são razoáveis e outras são apenas para diversão (para adicionar entretenimento). No final respondem a um questionário sobre as escolhas feitas.
 - Toxic Workplaces - jogo de estudo de casos, em que o jogador lê um caso e depois escolhe uma das decisões pré-definidas e também indica como espera que os seus colegas decidam. Algumas respostas estão erradas e isso é identificado no final e contribui para a pontuação final. No final respondem a um questionário sobre o caso analisado.

- Mars: An Ethical Expedition - este é um jogo de aventura baseado na colonização de Marte. Os jogadores são informados sobre uma situação/caso hipotético e têm de escolher entre opções pré-definidas que influenciam o desenrolar da história. O jogo dura o semestre inteiro e tem 12 capítulos.

Zahrani e Fawzy [197] estão a desenvolver um jogo para o ensino da ética nos cursos de engenharia. É um jogo digital baseado num caso de estudo definido pela National Society of Professional Engineers (EUA) com base em respostas certas e erradas. A intenção destes autores é converter a educação ética num conjunto de jogos que permitam que o resultado final seja a nota do aluno (aprovação ou reprovação). Este jogo utiliza a realidade virtual.

Nel e Carroll [198] utilizaram um jogo digital do tipo role-playing construído a partir de estudos de caso realistas (baseados no quotidiano académico) para avaliar os jogadores do ponto de vista da sua ação ética, avaliando as decisões tomadas durante o jogo. A utilização do jogo não indicou o comportamento ético do jogador, uma vez que cada jogador se colocou no papel de uma personagem do jogo. Verificou-se que apesar do ambiente do jogo ser muito realista, os jogadores não permaneceram presos à sua própria identidade, mas assumiram-se como personagens de um jogo. De acordo com Nel e Carroll [198], “This disconnect must be resisted in future attempts at using games as an educational research tool, and may be an insurmountable obstacle to gamification for ethics research.”, especialmente quando “using automated tools - not just gamified tools.” Um outro estudo também levanta este problema de os estudantes agirem e tomarem decisões como personagens do jogo e não como fariam na vida real [191].

Apesar da utilização de jogos educativos aumentar a motivação intrínseca dos alunos e de um posicionamento ativo, “the use of games and simulations in educational contexts, although perennially popular with students, have not in general been taken up by faculty, possibly because of the frivolous association that game-playing suggests.” [191]. O presente estudo contribui também para facilitar a utilização de jogos no ensino da ética nos cursos de engenharia.

4.1.3 - Objetivos específicos e metodologia

Neste contexto, considerou-se prioritário criar uma ferramenta pedagógica que tivesse um impacto positivo nos estudantes desde o início da unidade curricular de formação ética. Pretendeu-se sensibilizar os estudantes para a importância da ética na engenharia e de que forma a ética pode ser prática e útil na sua futura vida profissional. Considerou-se também necessário contribuir para a promoção da alegria/prazer em estudar engenharia e em romper com a forma tradicional de ensinar. Também se considerou importante surpreender os estudantes e despertar para novas formas de estar e de olhar a realidade, que é também importante na análise ética. Assim, a questão principal que esteve na origem desta investigação

foi: que inovação pedagógica pode ajudar a aumentar a valorização e o compromisso dos alunos com a aprendizagem da ética na engenharia? Perante esta questão, pretendeu-se criar e testar uma ferramenta pedagógica inovadora com os seguintes objetivos específicos do estudo apresentado neste ponto (OE4.1):

OE4.1_A - consciencializar os alunos para a importância/valorização da ética na engenharia e motivá-los para a sua aprendizagem ativa e empenhada;

OE4.1_B - sensibilizar para a forma como a ética pode ter uma dimensão prática no exercício profissional da engenharia.

Relativamente ao ponto OE4.1_B, considerou-se que deveria incluir uma introdução aos códigos éticos e deontológicos que regulam a profissão de engenheiro em Portugal e às correntes éticas contemporâneas de forma cativante, uma vez que se tratam de conteúdos que os alunos anteriormente referiram como teóricos e desinteressantes [113], e como estão diretamente relacionados com a prática profissional. Tendo em conta os objetivos estabelecidos, a ferramenta foi aplicada no início da unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia para despertar a curiosidade e sensibilização dos alunos para o tema, e assim estabelecer as bases para a introdução do tema da ética na engenharia.

A metodologia utilizada incluiu as etapas resumidas na figura 4.1. A avaliação da ferramenta desenvolvida foi realizada através da recolha de dados relativos à perceção dos alunos (utilizando um questionário antes da ação e outro após a implementação da ação), e a perceção (registos escritos) da docente. Foram realizados o questionário pré-atividade e o questionário pós-atividade, utilizando um método quase-experimental, metodologia considerada adequada para avaliar a eficácia de ferramentas pedagógicas [199]. Os questionários eram compostos por questões cuja resposta era uma escala de Likert de 5 pontos, questões semi abertas e questões abertas. Os resultados dos questionários pré e pós-atividade foram tratados na sua interpretação e análise, tanto numa perspetiva qualitativa como quantitativa. Os registos efetuados pela professora foram analisados qualitativamente. A frequência dos alunos também foi registada.

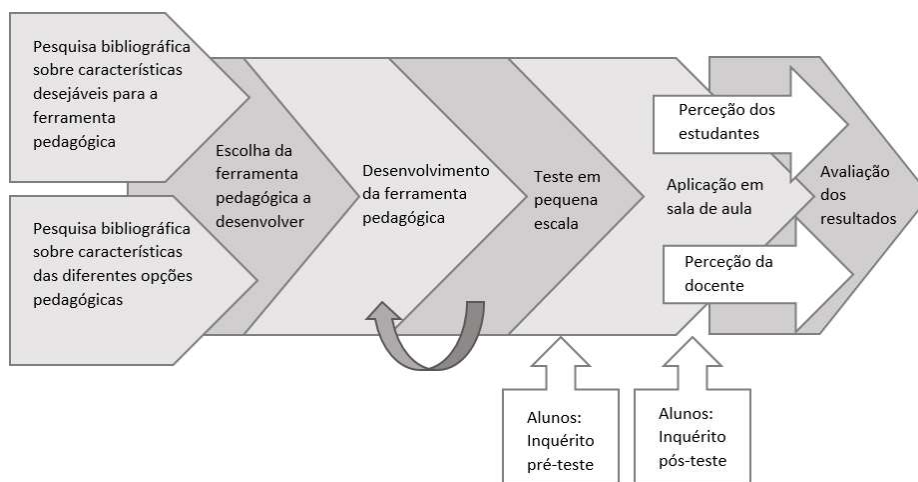


Figura 4.1 - Resumo da metodologia utilizada.

Foi utilizada uma amostra de conveniência, constituída por estudantes da unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia do curso de licenciatura em engenharia eletrotécnica e de computadores do ISEC. A instituição faz parte do subsistema de ensino politécnico e a unidade curricular insere-se no 2.º ano do plano curricular. Frequentaram a unidade curricular cerca de 73 alunos (que constituem a amostra deste estudo).

Os 73 estudantes (9,5% do sexo feminino) que responderam ao questionário pré-atividade estavam divididos em 2 grupos: um grupo (que corresponde a 11% das respostas) tem aulas pós-laborais/noturnas (destinadas a estudantes trabalhadores); e o outro grupo tem aulas diurnas, e corresponde aos restantes 89% dos alunos. Dos estudantes participantes, 41,9% têm entre 20 e 23 anos; 24,3% têm mais de 25 anos; 17,6% têm menos de 20 anos; e 16,2% têm entre 23 e 25 anos. São 15% os alunos que nunca estudaram filosofia durante o seu percurso escolar, o que constitui uma dificuldade acrescida para a formação ética na engenharia. O questionário pós-atividade foi respondido por 64 estudantes. A diferença no número de respostas deveu-se a uma alteração burocrática institucional no plano curricular do curso durante a implementação da atividade, que resultou na mudança de alguns alunos para outras unidades curriculares.

4.1.4 - Descrição da atividade desenvolvida

Uma pesquisa bibliográfica sobre a necessidade de inovação pedagógica no ensino superior (e no ensino de engenharia) permitiu identificar algumas características fundamentais que esta ferramenta deveria ter. Estas características são apresentadas na tabela 4.1. Perante as características identificadas, escolheu-se usar Aprendizagem Baseada em Jogos [200] porque permite fomentar o interesse, a motivação e o empenho dos alunos [180]; aprender através da aplicação prática em contextos autênticos; despertar a curiosidade dos alunos; transformar o processo de aprendizagem numa experiência divertida e alegre e promover a interação entre os alunos [201]. Esta metodologia também permite o uso de narrativas, que desempenham um papel importante no desenvolvimento moral [202]. De entre os vários tipos de jogos, optou-se por conceber, desenvolver e aplicar um jogo de tabuleiro educativo do tipo “escape room”. A escolha baseou-se no facto de um jogo de tabuleiro educativo tipo “escape room” poder satisfazer as características acima mencionadas. Este tipo de jogo desperta curiosidade, promove muita ação (com envolvimento físico, emocional e cognitivo), além de promover uma procura empenhada, ativa, individual e em grupo; promover a reflexão e a interligação de dados, bem como a análise de uma realidade complexa (ainda que fictícia) [203] [204]. Todas estas competências são muito valorizadas nos diplomados em engenharia (competência transversais) [205]. Um jogo educativo tipo “escape room” é uma aprendizagem imersiva baseada em equipas e uma aprendizagem baseada em problemas [206]. O design do jogo desenvolvido permitiu interligar as características pretendidas com os objetivos pedagógicos,

conforme se apresenta na tabela 4.2. O jogo foi desenhado seguindo o ciclo: projetar, aplicar, avaliar, redesenhar [207]. O jogo foi designado de Ethical Betrayal.

Tabela 4.2 - Sistematização da coerência entre as características desejáveis, os objetivos pedagógicos e as características do jogo.

Características pretendidas	Características do jogo	Objetivos pedagógicos
Envolver a mente e o corpo no processo de aprendizagem [208]	Implica movimento e procura de pistas num determinado espaço físico; manipulação de pistas e documentos em suporte físico.	Contacto com documentos: códigos deontológicos; conteúdos sobre ética na engenharia; e sobre correntes éticas contemporâneas.
Envolver as emoções (vertente fundamental para a motivação, atribuição de significado, compromisso pessoal, valorização e envolvimento), aspeto muitas vezes ausente no ensino superior [209]. As emoções são também fundamentais para o compromisso ético e moral [107].	Centra-se num mistério a desvendar, o que desperta o envolvimento pessoal e emocional; a narrativa inclui aspetos diretamente ligados à vida académica e ao curso que frequentam, o que promove a identificação com o contexto e a situação, bem como o envolvimento pessoal e emocional.	Atribuir significado à experiência e à aprendizagem; promover o desenvolvimento moral.
Envolver os alunos em situações complexas reais ou próximas da realidade [209].	A narrativa inclui situações ficcionais complexas, parcialmente baseadas em casos reais complexos.	Reconhecer a importância da ética no exercício profissional; reconhecer a dimensão prática da ética; aplicar a análise ética a casos práticos; promoção da resiliência em contextos complexos.
Ser uma descoberta pessoal e ativa, em vez de apenas ouvir passivamente uma descrição de factos feita pelo professor [210].	Todo o jogo implica um esforço ativo de pesquisa, descoberta, análise, interpretação, julgamento, associação e dedução que é feito pelos alunos; o professor apenas acompanha a evolução do jogo e presta assistência técnica, não interferindo na evolução do jogo.	Recolha e análise de informação; interpretação e avaliação da informação; associação e dedução de hipóteses; síntese e construção de uma narrativa fundamentada sobre o que pensam que aconteceu; análise e raciocínio ético.
Foco nas relações pedagógicas entre os diferentes intervenientes (professores e alunos e entre alunos), o que promove uma aprendizagem eficaz [211].	Por ser um jogo cooperativo em grupo, envolve interação e debate contínuo entre colegas, partilhando opiniões e vivenciando o trabalho em equipa.	Descrever/narrar/expressar a sua opinião, fundamentar a sua perspetiva.
Promover diferentes visões da realidade e das ideias pré-concebidas [212].	No grupo é necessário debater as diferentes ideias e chegar a consensos e gerir conflitos; é necessária abertura a diferentes ideias e pontos de vista, e ao inesperado.	Discutir as várias possibilidades, comparar e debater perspetivas; avaliar e julgar as diferentes possibilidades.
Promove a curiosidade, e centra-se mais no levantamento de questões e dúvidas, o que contribui para a motivação e participação ativa dos alunos.	Centra-se num mistério a desvendar, o que desperta curiosidade, levanta dúvidas e interrogações.	Reunir informação e formular hipóteses; criticar hipóteses; envolver-se e comprometer-se.
Promover a valorização, a alegria e o gosto pela zona [112].	O uso de um jogo é cativante por si só; o mistério a resolver é interessante; a interação entre os alunos promove a boa disposição; algumas pistas foram criadas com sentido de humor.	Valorizar a área; desenvolver o gosto pelo processo de aprendizagem; promover a abertura pessoal à aprendizagem.

Como o objetivo era despertar os estudantes para a importância/valorização da ética na engenharia e motivar os alunos para a sua aprendizagem ativa e empenhada, o jogo foi usado logo nas primeiras aulas do semestre, antes de qualquer ensino de conteúdos específicos.

O jogo foi aplicado em sala de aula (em 2 aulas de 1h e 30min cada), em equipas (4 a 6 elementos). O jogo baseia-se na resolução de um mistério (desaparecimento de um engenheiro). O mistério terá de ser resolvido no prazo de 3 horas para permitir a leitura (ainda

que parcial) dos códigos deontológicos e demais documentos e tendo em conta a complexidade das provas em análise. Durante o jogo, os alunos têm de descobrir pistas e responder a perguntas, obtendo recompensas que ajudam a orientar a evolução do jogo e a manter a motivação ao longo do jogo, bem como promovendo a competição entre grupos. Caso acertem nas perguntas, têm direito a tentativas extra para acertar no código do “cofre” que contém uma pista importante.

No final do jogo, na posse das pistas, os grupos dão a sua opinião fundamentada sobre o que acham que aconteceu, quem é o culpado e porquê. O jogo envolve 5 personagens, todos engenheiros eletrotécnicos, uma vez que o jogo foi aplicado a estudantes de engenharia eletrotécnica (mas poderia ser adaptado a outras áreas), o que permite aos alunos uma melhor identificação com o contexto e a narrativa do jogo. Há uma narrativa que enquadra o jogo e as personagens (que trabalham na área da engenharia eletrotécnica), e que também justifica a necessidade da investigação, o limite de tempo e o papel dos jogadores. As pistas apontam para o facto de algumas personagens terem violado os códigos deontológicos que regulam a profissão de engenheiro/a, tendo-se comportado de forma pouco ética.

O jogo permite aos alunos perceber que um profissional da área da engenharia (neste caso, engenharia eletrotécnica) pode optar por agir de forma ética ou não. Isto permite aos estudantes reconhecer e valorizar a dimensão ética dos profissionais desta área. Portanto, no jogo existem personagens que agiram de forma ética e outros que não o fizeram (os alunos têm de descobrir quais). Esta componente prática é importante, uma vez que os estudantes de engenharia tendem a ter pouca motivação para a formação ética e dificuldade em reconhecer a dimensão ética da profissão [115]. A motivação e o envolvimento são também potenciados pelo facto de o jogo envolver movimento, ação e envolvimento imersivo. Isto ajuda os alunos a convocar também a dimensão emocional, envolvendo todo o indivíduo no processo. Isto pode ajudar a promover a motivação intrínseca e um maior empenho dos alunos [191].

Para desvendar o mistério, os alunos têm de analisar pistas, que passam pela análise dos códigos deontológicos que regulam a profissão em Portugal. Isto permite aos alunos conhecê-los e perceber que existem comportamentos que não são éticos e, por isso, não são aceites na prática da profissão. Como o jogo é jogado em grupo, os alunos podem discutir cada um dos pontos dos códigos deontológicos que considerem relevantes para o caso, bem como se os comportamentos dos personagens foram éticos ou não (potenciando a análise ética, a reflexão, o raciocínio ético e argumentação e discernimento ético - todos componentes importantes na formação ética). O estudo dos códigos deontológicos é reconhecido como uma das componentes necessárias à formação ética em engenharia [101]. A figura 4.2 mostra os estudantes a analisarem os documentos à procura de pistas.

As pistas incluem também documentos que resumem as correntes éticas contemporâneas (por exemplo, o utilitarismo, a ética das virtudes, a ética deontológica e o subjetivismo ético) e documentos sobre ética na engenharia. Assim, durante o jogo, os alunos conseguem discutir

se o comportamento de cada personagem se enquadra numa destas correntes éticas. As correntes éticas contemporâneas também são consideradas importantes na formação ética em engenharia [101].

O jogo não permite o aprofundamento dos vários tópicos, mas permite uma introdução aos temas e, principalmente, o despertar e motivar para os temas, o que é um dos principais problemas reconhecidos na formação ética em engenharia [115].

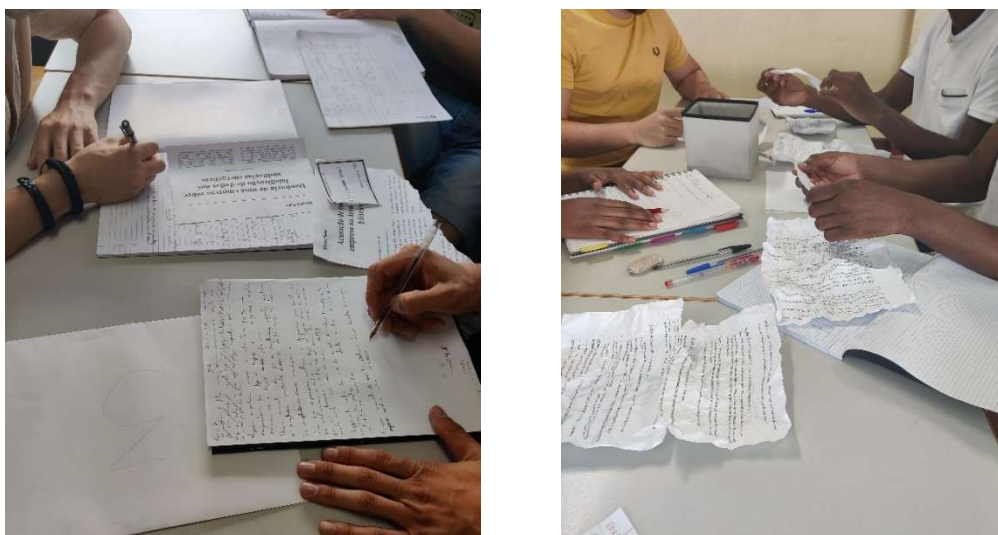


Figura 4.2 - Estudantes a analisarem pistas durante o jogo Ethical Betrayal.

No que diz respeito à jogabilidade, cada grupo analisa os documentos de uma área do escritório pertencente à personagem que “desapareceu”. Os documentos contêm comentários que constituem pistas sobre os motivos do seu desaparecimento. Quando um grupo termina de analisar os documentos de uma área, devolve-os e analisa outra área da sua preferência, desde que esteja livre. A figura 4.3 mostra o tabuleiro do jogo.

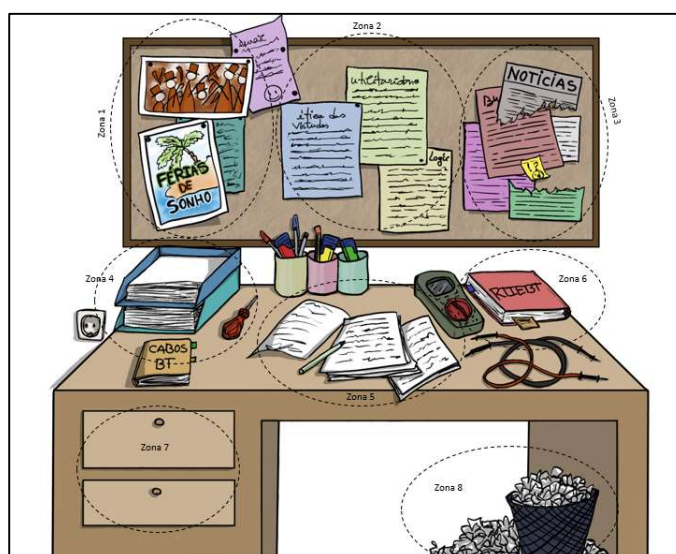


Figura 4.3 - Tabuleiro do jogo, do jogo Ethical Betrayal, que representa partes de um escritório.

Todos os grupos analisam os documentos de todas as áreas do escritório e podem voltar a rever áreas onde já estiveram. O percurso realizado por cada grupo é escolhido pelo próprio grupo. Cada grupo pode tentar responder a perguntas sobre o mistério ao longo do jogo. Por cada questão que acertam, ganham mais tentativas de acertar no código que abre o cofre final, onde está uma pista importante. Os números que compõem o código estão inscritos disfarçadamente nos documentos. No final, os grupos apresentam uma proposta sobre o que acham que aconteceu.

A narrativa (mistério) do jogo serve apenas para justificar (e torná-lo mais interessante e apelativo) o contacto dos alunos com os documentos que contêm conteúdos sobre ética e para motivar a sua análise. Serve também para unificar a estrutura do jogo e despertar a curiosidade.

O jogo desenvolvido não está relacionado com a sustentabilidade, uma vez que é utilizado nas duas primeiras aulas como introdução à unidade curricular de ética: tem o importante papel de ajudar a reconhecer a importância de agir de forma ética na prática profissional. O jogo foca-se na micro ética, e a partir desta, a macro ética e o papel da engenharia na (in)sustentabilidade serão abordados mais tarde na unidade curricular. Embora o jogo não se centre na relação entre ética e sustentabilidade, é importante para abrir o caminho para que os alunos valorizem o agir eticamente e ajudá-los a reconhecer que as suas escolhas na forma de agir profissionalmente podem ser eticamente condenáveis e ter graves consequências: isto é o ponto de partida para a restante formação ética (incluindo a dimensão da (in)sustentabilidade).

4.1.5 - Resultados da perceção dos estudantes e da docente

Para a avaliação da atividade desenvolvida foram consideradas as respostas ao questionário pós-jogo (64 respostas), observação e registos da professora. A tabela 4.3 resume as respostas dos alunos sobre o jogo e a sua utilização na sala de aula.

Do ponto de vista da perceção dos alunos, 96,9% dos 64 alunos consideraram que a utilização do jogo foi benéfica quando comparada com as aulas tradicionais. 90,5% dos alunos consideraram que foi mais interessante, que permitiu que estivessem mais ativos e que o uso do jogo foi mais motivador do que o uso de método expositivo. No geral, 59,4% consideraram que a motivação durante o jogo é elevada ou aumenta ao longo do jogo.

Do ponto de vista da professora, é de salientar que nas aulas diurnas:

- Os alunos não sabiam o que era um jogo tipo “escape room”, o que dificultou o início do jogo. Inicialmente, os alunos ficaram surpreendidos: pararam para ver o que iria acontecer, olhando uns para os outros como se lhes pedissem para fazer algo fora do normal, até que uma aluna se levantou e foi procurar as pistas. A partir

desse momento, os restantes também se levantaram e começaram a jogar de forma empenhada e muito ativa.

- No final da 1ª aula (meio do jogo) os alunos não queriam sair da sala e alguns ficaram a debater as suas opiniões sobre o mistério que tinham de descobrir. Um aluno comentou “Mesmo que não estivesse inscrito nesta unidade curricular, iria assistir a estas aulas para saber quem é o culpado!”; outra aluna comentou no seu grupo “Esta aula é muito gira!”. O entusiasmo e a alegria da maioria dos alunos foram muito evidentes: saíram da sala ainda a discutir o mistério que o jogo tinha lançado e as pistas. Para a professora foi “novo e surpreendente ver os alunos saírem da sala a debater com tanto entusiasmo os temas da aula”.
- Ao chegar à sala para a 2ª aula (2ª parte do jogo), a professora ficou surpreendida com o facto de a maioria dos alunos já lá estar a debater o jogo, apesar de ainda não estar na hora da aula. Estavam com pressa para continuar o jogo e muito curiosos para desvendar o mistério.
- Mas nem tudo são vantagens, e um dos problemas identificados é o ruído que os alunos fazem enquanto conversam em grupo de forma entusiasmada, e quando circulam pela sala (alguns professores de salas contíguas comentaram este facto). Outro problema foi o tempo de jogo, pois os alunos queriam que o jogo durasse para além das 2 aulas (3 horas no total), pois queriam analisar as pistas com mais cuidado e várias vezes. Este problema terá tido um impacto negativo nos resultados, pois apenas 1 grupo conseguiu chegar perto da solução do mistério, e nenhum grupo conseguiu chegar ao código do cofre final (o facto dos alunos não estarem familiarizados com os jogos tipo “escape room” pode ter dificultado a descoberta do código).

Nas aulas em regime pós-laboral:

- Os alunos também não sabiam o que é um jogo tipo “escape room”. Jogaram com entusiasmo (especialmente os grupos com alunos mais novos), mas com muito menos ruído e jogaram mais devagar. Isto pode resultar do facto de os alunos, em geral, serem mais velhos, terem estado a trabalhar antes de virem para as aulas e a turma ter muito menos estudantes do que as turmas diurnas. Os estudantes leram os documentos com muito mais atenção e cuidado e, por isso, demoraram mais tempo a analisar cada zona. Os alunos mais velhos tiveram mais dificuldade em se deslocar e compreender a lógica deste tipo de jogos.
- No final, os estudantes (tanto do regime diurno, como do pós-laboral) referiram que este tipo de jogo tinha sido uma novidade interessante e afirmaram oralmente e no inquérito que queriam continuar a utilizar jogos na unidade curricular.

Tabela 4.3 - Síntese das respostas dos alunos sobre o jogo e a sua utilização na sala de aula.

Tópico	Respostas dos estudantes
Comparação do uso do jogo com as aulas tradicionais	37,5% - foi mais interessante do que as aulas tradicionais; 34,4% - foi mais ativo que as aulas tradicionais; 18,8% - foi mais motivador do que as aulas tradicionais; 3,1% - foi mais eficiente do que as aulas tradicionais;
Se pretendem continuar com este método pedagógico nesta unidade curricular	96,8% - responderam sim; 3,2% - responderam não;
Interesse do jogo	46,9% - consideraram-no interessante; 39,1% - consideraram-no muito interessante; 12,5% - não se posicionam; 1,6% - consideraram-no “muito aborrecido”.
Quanto à jogabilidade do jogo	20,3% - foi muito bom; 56,3% - foi bom; 20,3% - não se posicionam; 3,1% - foi mau;
Tempo do jogo	53,1% - foi suficiente; 43,8% - foi muito pouco; 3,1% - foi demasiado;
Quanto à adequação do jogo ao perfil dos jogadores	17,2% - consideraram-no totalmente adequado; 62,5% - consideraram-no adequado; 17,2% - não se posicionam; 3,1% - consideraram-no inadequado.
Se as recompensas do jogo eram adequadas ao tipo de jogo	89,1% - consideraram-no adequado; 9,4% - não se posicionam; 1,6% - consideraram que não eram muito adequados.
Se as recompensas permitiam ter um feedback que ajudava a jogar	85,5% - concordam que sim; 12,7% - não se posicionam; 4,8% - consideram que não.
O nível de dificuldade do jogo	20,3% - é muito difícil; 54,7% - é difícil; 21,9% - não se posicionam; 3,1% - consideram-no fácil.
Quanto à motivação durante o jogo	43,8% - consideram que cresce ao longo do jogo; 32,8% - consideram que varia aleatoriamente ao longo do jogo, com altos e baixos; 15,6% - consideram que se mantém constante e elevada ao longo do jogo; 7,8% - consideram que diminui ao longo do jogo.
Quanto aos elementos do jogo	38,1% - consideram-nos muito apropriados; 50,8% - consideram que são adequados; 11% - não se posicionaram.

A assiduidade dos alunos ao longo da unidade curricular (registada pela professora) foi elevada: 25% dos alunos compareceram a todas as aulas; 80% dos alunos participaram em mais de 85% das aulas; 93,3% dos alunos participaram em mais de 70% das aulas e apenas 5% dos alunos participaram em menos de 50% das aulas - estes dados referem-se apenas aos alunos do período diurno e foram afetados pelo facto de que alguns alunos só tiveram conhecimento que seriam alunos desta unidade curricular a meio do período letivo.

Para avaliar os resultados do ponto de vista da aprendizagem, consideraram-se:

- As respostas às questões pré-jogo (73 respostas) sobre a perceção do conhecimento que os alunos reconheciam ter sobre os Códigos de ética profissional (aplicados à engenharia);

- As respostas às questões pós-jogo (64 respostas) sobre a aprendizagem que o jogo lhes permitiu desenvolver relativamente aos Códigos de ética profissional e sobre as correntes éticas referidas no jogo (utilitarismo, ética da virtude e deontologia).

Antes do jogo:

- 17,6% dos estudantes afirmaram não ter noção do que era um código deontológico; 27% responderam que não sabiam o que era; 37,8% não se posicionaram; 16,2% responderam que sabiam o que era e 1,4% consideraram que conheciam muito bem;
- Quanto ao conhecimento dos códigos deontológicos na engenharia, 31,1% responderam nunca ter ouvido falar; 29,7% afirmaram não conhecer os códigos; 35,1% não se posicionaram; 2,7% responderam que os conheciam e 1,4% responderam que conheciam muito bem os códigos.

Depois do jogo:

- 75% consideram que aprenderam alguma coisa sobre os códigos deontológicos; 12,5% consideram que aprenderam muitas coisas; 7,8% consideram que o jogo permitiu captar tudo o que sabem sobre o tema; para 3,1% não aprenderam nada de novo sobre o tema; e 1,6% consideram que antes do jogo já sabiam tudo sobre os códigos.
- 78,1% afirmaram que o jogo lhes permitiu aprender algo novo sobre o utilitarismo/ética da virtude/deontologia; 7,8% responderam que aprenderam muitas coisas novas sobre estes temas; 7,8% disseram que aprenderam tudo o que sabem agora; 4,7% consideraram que não aprenderam nada de novo e 1,6% responderam que já sabiam tudo antes.

4.1.6 - Conclusões específicas

Os resultados permitem concluir que a ferramenta desenvolvida rompeu com a forma tradicional de lecionar as aulas e que os alunos reconheceram isso como benéfico. Permitiu que os alunos estivessem nas aulas de forma ativa, mobilizando o corpo e a mente no processo de aprendizagem, e fomentou a motivação, a curiosidade e o interesse dos alunos. Devido às características do próprio jogo, este proporcionou uma aprendizagem centrada no estudante, pois promoveu o envolvimento e empenho dos estudantes, bem como a procura e reflexão individual e coletiva. Apesar desta metodologia pedagógica implicar muito mais trabalho e empenho por parte dos estudantes, quando comparada com as aulas expositivas tradicionais, o facto de 96,8% dos alunos terem respondido que gostariam de continuar com esta metodologia na unidade curricular é um indicador da sua satisfação com o método. Este dado pode ser corroborado pelo registo da professora, referente ao entusiasmo e alegria dos alunos durante o jogo e pela elevada assiduidade dos alunos.

O jogo permitiu aos estudantes um primeiro contacto com os códigos deontológicos (da engenharia) e com algumas correntes éticas contemporâneas. O jogo permitiu olhar para estes

temas de forma prática e curiosa, despertando o interesse dos estudantes, embora não tenha sido possível aprofundar os temas durante o jogo devido ao limite de tempo. Tendo em conta quase todos os alunos não conheciam os códigos deontológicos antes do jogo, este primeiro contacto com os documentos (que ocorreu num ambiente dinâmico e ativo, e aplicado a uma situação concreta e próxima da realidade) permitiu que os alunos valorizassem os documentos ao testemunhar a sua dimensão prática e útil. O facto de se tratar de um jogo de tabuleiro que envolvia movimento e debate fomentou a interação entre os alunos e potenciou o envolvimento emocional dos alunos.

Embora a ferramenta pedagógica desenvolvida e testada tenha tido resultados muito positivos, será necessário melhorar alguns aspetos, nomeadamente o tempo de jogo e o seu grau de dificuldade, nomeadamente porque os alunos não estavam familiarizados com este tipo de jogo. Esta ferramenta fez parte da introdução à ética na engenharia, mas também é necessário desenvolver ferramentas pedagógicas inovadoras e eficientes para outros objetivos pedagógicos ao longo da formação ética dos estudantes de engenharia.

A principal limitação do jogo é a sua aplicabilidade a turmas numerosas (foi aplicado numa turma com 65 alunos a jogar simultaneamente na mesma sala). Os contributos deste estudo são ter inovado no ensino/aprendizagem da ética em cursos de engenharia com a utilização de um jogo de tabuleiro, e no perfil do jogo e dos temas abordados. Isto poderá ser útil para todos aqueles que ensinam ética nos cursos de engenharia.

4.2 - Ferramenta pedagógica para promoção de formação ética para a sustentabilidade: GiSphera - building

Para Altvater [213], no cerne da atual insustentabilidade ambiental está a estratégia que maximiza a rentabilidade económica e em que a natureza é considerada um bem de consumo. Esta visão ambiciona o aumento constante da produtividade, a redução dos custos de produção, bem como a contínua “destruição criativa” [214]. Para isso, é necessário um aumento contínuo da mão de obra, do consumo de energia, da extração de recursos naturais e da inovação tecnológica. Em resultado, estes objetivos permitem o crescimento económico à custa da devastação ambiental [213]. Neste contexto, são necessárias máquinas e também energia para alimentar as máquinas, portanto, é necessária engenharia porque no centro da criação, manutenção e exploração da tecnologia está a engenharia nas suas diversas áreas. Consequentemente, a engenharia e a tecnologia que estão presentes no sistema produtivo contemporâneo, estão também no centro da exploração e destruição ambiental.

Perante a atual devastação ambiental e a perda catastrófica de biodiversidade, é também urgente imaginar soluções e possíveis futuros que conduzam a uma mudança transformadora que salvguarde o futuro comum [215] [216] [217]. Neste processo, o ensino superior deve

desempenhar um papel central [218]. O ritmo de consumo dos recursos ambientais [219] só é possível devido à tecnologia que a engenharia criou, e que permitiu ampliar a ação humana sobre a natureza. O papel da engenharia e da tecnologia é também reforçado pelo facto de que a engenharia e a tecnologia têm forte influência na dimensão social, económica, política e ambiental das sociedades contemporâneas [220].

O desenvolvimento tecnológico tem um papel de destaque no problema da insustentabilidade, porque é o elemento-chave que permite uma crescente e massiva sobre exploração dos recursos naturais [221] e a alta produtividade (que aumenta o consumo de recursos [222]). Para [223], o crescimento económico faz-se a partir do desenvolvimento da tecnologia. A clara relação entre tecnologia e rentabilidade económica leva o sector económico a investir no desenvolvimento tecnológico, o que leva a mais desempenho económico, o que leva a mais investimento em tecnologia, numa espiral crescente [224] mas com consequências nefastas muitas vezes ignoradas. Perante isto, Hume [220] afirma que “technologies play a role in the propagation of unsustainable patterns of change”.

A engenharia e a inovação tecnológica moldam fortemente o futuro [216] [220] [225] e os futuros profissionais da engenharia devem estar cientes disso [33]. Apesar deste importante papel [10], os engenheiros/as são formados principalmente com foco nos objetivos técnicos e económicos (diminuir os custos de produção, aumentar a produtividade, aumentar a eficiência), tendendo a ver e estudar os problemas de uma perspetiva muito limitada, e a reduzir todos os problemas a meras questões técnicas [225] negligenciando dimensões como as questões sociais, políticas e ambientais [220].

Alguns estudos de engenharia incluem análises ambientais, mas são muitas vezes vistas como uma questão puramente técnica [225] [216]. Os engenheiros defendem, habitualmente, uma visão centrada no determinismo tecnológico [226], que consideram neutro, bem-intencionado e com consequências essencialmente positivas [225], e não como uma potencial fonte de problemas [220].

Neste contexto, Altvater [213] destaca ainda o problema de o foco estar usualmente apenas na análise de uma parte, e não no todo (visão holística), limitando-se a uma visão micro fragmentada da realidade. Para este autor, “the engineers are not qualified to work holistically”, pelo que, não têm em conta os efeitos colaterais que escapam à sua circunscrita análise técnico-económica. Este é um grande problema que precisa de ser mitigado no ensino da engenharia, porque a engenharia desempenha um papel fundamental na insustentabilidade/sustentabilidade. Este papel da engenharia torna essencial que os cursos de engenharia incluam uma sólida educação ambiental que permita uma prática profissional mais eco-responsável, e que alargue a visão para uma perspetiva mais holística e consciente do papel da engenharia na insustentabilidade/sustentabilidade. Este objetivo é o foco principal do presente estudo e proposta pedagógica.

Perante este contexto, é indispensável que os engenheiros estejam eticamente preparados para analisar, discernir e compreender os complexos problemas éticos que resultam da ação da engenharia e da tecnologia sobre o ser humano, a sociedade, a economia e a natureza, tanto no presente como no futuro. Para Son [156] “engineers are required to take more responsibility in reflecting the future of the society, as they are in the forefront of technological innovations”. Mas, para promover uma formação académica dos engenheiros que conduza à ação transformadora urgente que as Nações Unidas consideram essencial e incontornável [215], é necessário promover a sensibilização e a mobilização dos estudantes [160].

Para potenciar o envolvimento pessoal e emocional é importante que o processo de formação seja feito ativamente pelo estudante, para que implique o envolvimento pessoal e aumente a probabilidade de compromisso e ação moral [107] [146]. Alguns estudos referem a utilização de metodologias pedagógicas ativas que envolvem o uso da imaginação criativa como potenciadoras do envolvimento pessoal, da integração, do significado e do sentido pessoal, do envolvimento emocional, da capacidade de ir além do pré-definido, da criatividade, da empatia e do desenvolvimento da sensibilidade ética. Todos estes aspetos são fundamentais para promover uma visão transformadora e para promover a futura ação [217] [160] dos profissionais de engenharia.

Apesar disso, o ensino da engenharia (pelo menos em Portugal), de um modo geral, não incorpora algumas destas componentes de formação [123] [33]. Além disso, alguns estudos indicam que os estudantes de engenharia estão entre aqueles com um menor índice de empatia [141] [97]. A empatia é necessária para que a motivação atue em prol da sustentabilidade, pois permite que todos se coloquem no lugar dos outros (por exemplo, das gerações futuras, ou mesmo dos animais) e sejam sensíveis aos seus problemas presentes ou futuros.

Estes aspetos também são fundamentais para a educação ambiental [227], pois realçam a necessidade de uma educação ampla sobre o complexo papel da ação humana (e da tecnologia) no ambiente; e um envolvimento e empenho que promova a motivação para procurar e implementar ações para a resolução dos problemas ambientais.

Neste contexto, é importante desenvolver ferramentas pedagógicas que melhorem e facilitem a sensibilização e formação dos estudantes de engenharia que promovam um “future-oriented and transformative thinking and learning” [228], conscientes e empenhados na construção ética e responsável de um futuro comum sustentável e justo. Para Rieckmann [160], isto requer “creative and self-organised action, because the complexity of the actors, the action situation and the course of action do not allow for problem-solving processes which go strictly according to plan”. O estudo descrito neste ponto centrou-se apenas nos estudantes da área de engenharia eletrotécnica, área que atualmente parece carecer desta componente educativa [123].

4.2.1 - Objetivo específico e metodologia

Tendo por base que “Os Engenheiros devem interiorizar e assumir sólidos princípios de sustentabilidade económica, social e ambiental, com a perfeita noção do carácter finito dos recursos que nos foram legados e da sua defesa e proteção” [17], o estudo que se apresenta neste ponto teve como objetivo específico:

OE4.2 - desenvolvimento de uma ferramenta pedagógica para promover de forma eficaz a compreensão das complexas questões e desafios relacionados com a sustentabilidade (para aplicar no contexto da formação ética em cursos de engenharia eletrotécnica).

Este objetivo foi subdividido em duas componentes: desenvolver a ferramenta pedagógica (OE4.2_A) e avaliar a sua eficácia (OE4.2_B).

Com estes objetivos, concebeu-se um jogo de tabuleiro educativo onde os alunos/jogadores, em grupos, primeiro constroem uma cidade, depois tomam consciência das interligações dentro do funcionamento da sua cidade e posteriormente analisam as consequências futuras da cidade que construíram. Este jogo permite desafios e experiências envolventes e imersivas que proporcionam o contacto com uma complexa teia de inter-relações, o que é especialmente adequado para aprender sobre análise de sistemas complexos [199], como é o caso da área da sustentabilidade [229] e na educação ambiental - que é holística e complexa [230]. O jogo projetado utiliza a especulação imaginativa do futuro, e foi criado de modo a ser apropriado para estudantes de engenharia (neste estudo, foi adaptado para estudantes de engenharia eletrotécnica).

Após o desenvolvimento do jogo (OE4.2_A), o estudo prosseguiu com a avaliação da eficácia da ferramenta desenvolvida (OE4.2_B): O jogo de tabuleiro e a abordagem educativa desenvolvidos (que foram aplicados na formação ética de estudantes de engenharia eletrotécnica) podem promover a compreensão das complexas questões e desafios relacionados com a sustentabilidade?

Após revisão específica da literatura, foi desenhada a ferramenta pedagógica (um jogo de tabuleiro educativo). A abordagem pedagógica inclui o jogo de tabuleiro realizado na sala de aula e um debate pós-jogo.

Foi utilizada a metodologia de investigação-ação porque é adequada para o desenvolvimento de uma ferramenta pedagógica e quando se pretende alcançar algum nível de transformação psicossocial dos alunos envolvidos no estudo [231] [232]. A escolha desta metodologia assenta também na sua adequação ao desenvolvimento da prática profissional docente [232]. Trata-se de um processo reflexivo [233] e iterativo (em espiral), intercalando a reflexão crítica, a ação, a compreensão e a mudança. Esta metodologia é adequada quando o objetivo é “uma metodologia de investigação orientada para a melhoria da prática para melhorar e resolver problemas sociais” [232].

A avaliação dos efeitos da aplicação da abordagem pedagógica proposta foi feita em sala de aula através de questionários. Foi realizado um questionário pré-ação e um questionário pós-

ação, utilizando um método quase-experimental. Esta é uma metodologia considerada adequada para avaliar a eficácia das ferramentas pedagógicas no âmbito da sustentabilidade [199]. Os resultados dos questionários pré e pós-ação foram tratados tanto numa perspetiva qualitativa como quantitativa na sua interpretação e análise. Os questionários eram compostos por questões cuja resposta era numa escala de Likert de 5 pontos, questões semi abertas e questões abertas. A síntese da metodologia global que foi utilizada é apresentada na figura 4.4.

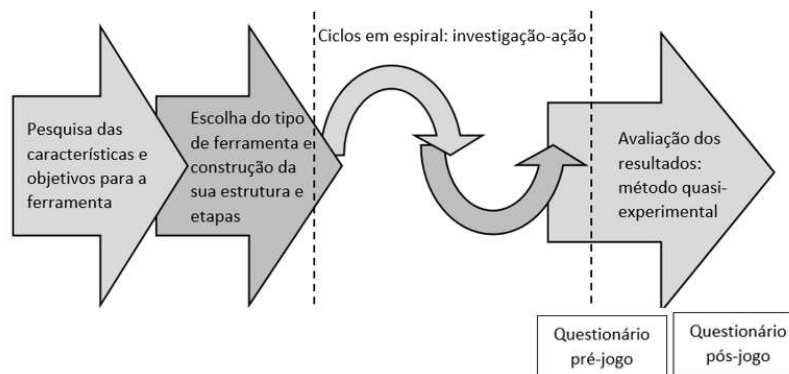


Figura 4.4 - Resumo da metodologia global utilizada no estudo descrito no ponto 4.2.

Foi utilizada uma amostra de conveniência, constituída por alunos da unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do ISEC. A unidade curricular insere-se no 2.º ano do plano curricular, tendo sido frequentada por alunos do 2.º e 3.º ano. Dos 98 alunos inscritos, cerca de 72 alunos (que constituem a amostra deste estudo) frequentaram a unidade curricular no ano letivo de 2022/2023. Os alunos que responderam ao questionário pós-jogo (72 no total) estavam divididos em 3 turmas: turma pós-laboral (destinada a trabalhadores estudantes) correspondente a 19,4% das respostas; e 2 turmas diurnas que correspondem aos restantes 80,6% dos alunos. Do total de alunos, apenas 6 são do sexo feminino (8,3%).

4.2.2 - Descrição do jogo educativo desenvolvido

A ferramenta pedagógica desenvolvida teve como objetivo proporcionar aos alunos a oportunidade de se envolverem pessoal e emocionalmente (com recurso à imaginação e à criatividade) e vivenciarem a experiência de planejar, criar e analisar um sistema complexo. Isto proporciona um envolvimento pessoal a nível emocional, o que aumenta a propensão para atribuir significado pessoal e profundo, o que pode ter um efeito mais prolongado e marcado ao nível do compromisso pessoal na transformação social/ambiental [217] [107]. O envolvimento emocional é também importante para promover a empatia e desenvolver a

sensibilidade ética [146]. O uso da imaginação é também considerado importante na construção do futuro a partir do presente [234] [217] [235].

A ferramenta pedagógica desenvolvida consiste num jogo de tabuleiro educativo. Parte fundamental da abordagem pedagógica é a existência de um debate pós-jogo sobre os temas abordados pelo próprio jogo e a sua associação com a realidade da sociedade contemporânea (incluindo exemplos práticos reais). O jogo desenvolvido foi concebido para suscitar questões e perplexidades, de forma a abrir um caminho interior à necessidade de conhecer e compreender, bem como envolver o exercício do uso da imaginação criativa para conceber propostas de mudança com vista à construção de uma sociedade sustentável.

O jogo de tabuleiro desenvolvido (denominado GiSphera - building) centra-se na construção de uma cidade e inclui 6 mapas diferentes que servem de base à construção de cada cidade; cartões de infraestruturas (por exemplo, unidades industriais, centrais elétricas, hospitais, escolas, centros comerciais, etc.) que possibilitem a construção das cidades; cartões de recursos naturais; cartas com eventos climáticos; cartas com esgotamento dos recursos naturais; cartões com melhorias da eficiência tecnológica. O jogo inclui também um dossier para cada grupo, para registo e contabilização da evolução do jogo, onde os grupos registam o fluxo económico, as estratégias de decisão e os resultados obtidos em cada fase do jogo. A figura 4.5 mostra exemplos de tabuleiros de jogo de alguns grupos.



Figura 4.5 - Exemplos de tabuleiros de jogo de alguns grupos durante o jogo GiSphera - building.

O jogo desenvolvido é disputado em duas fases distintas e consecutivas: a construção do presente e as consequências no futuro. O jogo começa com uma narrativa para enquadrar o jogo e motivar os alunos e incentiva os grupos a construir a “melhor” cidade no território que lhe foi facultado (de forma aleatória). O jogo abrange as dimensões sociais, económicas e ambientais da sustentabilidade.

A primeira fase (fase do Presente - uma aula de 1h30min) permite aos alunos reconhecerem desde logo que existem limitações e que é injusto considerar que todos partem de condições iguais; e que a distribuição da riqueza é desigual do ponto de vista natural. Nesta fase, os grupos escolhem aleatoriamente o mapa base para a construção da cidade (sendo limitado pelas características do território e dos seus recursos naturais); e recebem um valor monetário para gerir na construção da cidade (limitações económicas), na compra de infraestruturas e/ou de recursos. As decisões de cada grupo são tomadas após debate e negociação interna entre os membros do grupo, o que constitui por si só uma oportunidade de aprendizagem sobre a procura de consenso e gestão de conflitos num grupo de trabalho.

Não existem soluções ideais para este jogo, mas algumas propostas são melhores (à luz de determinados valores/perspetivas) do que outras, e que isso também depende fortemente das condições iniciais (tais como recursos naturais, características do território e recursos económicos disponíveis). Assim, cada grupo é obrigado a tomar decisões com base em critérios/valores. Pretende-se com isto levar ao entendimento de que:

- O funcionamento da sociedade resulta de um conjunto de escolhas que podem diferir de um território/cultura para outro, e ao longo do tempo;
- Que as opções/decisões tomadas dependem de restrições e recursos que não estão disponíveis para todos em igual quantidade ou qualidade;
- Que é difícil (quase impossível) equilibrar tudo e, por isso, equilibrar os vários constrangimentos, recursos e possibilidades implica uma tomada de decisão - que se baseia (e ao mesmo tempo reforça e promove) determinados valores e visões sobre o que a sociedade deve ser (sobre os valores e perspetivas mais importantes).

Na realidade, a prática da engenharia consiste em fazer escolhas [47], que são sempre feitas com base em valores (por vezes não conscientes, não assumidos ou não refletidos). Cada escolha baseia-se em valores e promove determinados valores (que podem ou não ser consistentes), contribuindo para uma determinada visão e construção da sociedade e do mundo. Mas poderia haver outras escolhas possíveis, poderiam haver outras alternativas. Perante isto, importa ousar imaginar que foi (no passado) e é (no presente) possível optar por outras alternativas, outros futuros hipotéticos para a organização e funcionamento da sociedade. Para tal, as opções das cartas existentes no jogo permitem criar cidades semelhantes à maioria das grandes cidades que existem na contemporaneidade e ao seu modo

de funcionamento, ou é possível criar cidades mais alternativas (por exemplo, menos centradas na produtividade, economia e tecnologia).

Durante a execução da construção da cidade é acrescentada uma listagem com restrições devido às inter-relações e interdependências entre as diferentes infraestruturas da cidade (por ex. a existência de comércio implica a existência de produção industrial ou artesanal e de um sistema de transporte e distribuição; a existência de produção industrial implica a existência de extração de recursos naturais e de produção de energia; a existência de comércio implica a existência de consumidores (pessoas), o que implica a existência de infraestruturas sociais e de habitação, etc.). Ao longo do jogo, as cidades podem ser recriadas e reformuladas várias vezes, na procura de uma “melhor” configuração e funcionamento. Na primeira fase (do Presente), a avaliação das cidades (com o objetivo de escolher a “melhor” cidade) é feita apenas tendo em conta critérios económicos, tecnológicos e sociais.

Ao passar à segunda fase (fase do Futuro - uma aula de 1h30min), é avaliada a sustentabilidade de cada cidade (considerando a poluição, o consumo de recursos naturais e os danos causados ao meio-ambiente). Após esta avaliação, os alunos são informados do objetivo de tornar a sua cidade mais sustentável e podem adquirir diversas soluções tecnológicas com o objetivo de melhorar a sustentabilidade da cidade. Esta etapa permite que os alunos se surpreendam com os efeitos indesejados das soluções tecnológicas escolhidas, o que servirá de base para o debate e aprendizagem sobre os efeitos nocivos e imprevistos da tecnologia (a nível social e ambiental) e sobre o Rebound Effect [236]. A reação dos alunos a esta etapa foi muito forte, pois as suas escolhas basearam-se em lógicas matemáticas e técnicas, e as suas expectativas foram defraudadas ao constatarem que os resultados finais eram prejudiciais para o objetivo da sustentabilidade. Na visão da professora, para alguns alunos este foi o momento em que a aparente incoerência e incompreensão deram lugar a uma necessidade interior e pessoal de aprender e compreender mais sobre o tema. Alguns alunos reclamaram uma explicação, porque não compreenderam a relação entre as soluções tecnológicas escolhidas e as consequências para a sustentabilidade.

As etapas seguintes centraram-se nos impactos dos eventos climáticos extremos e no esgotamento de alguns recursos naturais. A evolução do jogo proporcionou um envolvimento muito ativo entre os alunos de cada grupo (13 grupos no total, com 4 a 7 elementos por grupo) e um forte debate sobre a tomada de decisões. O facto de ser um jogo de tabuleiro contribuiu muito para isso [237].

4.2.3 - Resultados específicos e a sua análise

Para responder ao objetivo OE4.2_B foram considerados os seguintes tópicos:

- a) Ocorrer mudança da visão e do reconhecimento do papel da engenharia na insustentabilidade ambiental;

- b) Promover o reconhecimento da complexa relação entre o desenvolvimento tecnológico e económico e a sustentabilidade (nomeadamente, como podem ser antagónicos, e os efeitos adversos da tecnologia e do aumento da sua eficiência - Rebound Effect);
- c) Promover o reconhecimento dos alunos sobre a sua própria aprendizagem e o papel desempenhado pelo jogo neste processo;
- d) Promover a criatividade dos estudantes para imaginar futuros mais sustentáveis e justos.

Para cada um dos tópicos foram feitas questões aos estudantes antes e/ou após a aplicação do jogo e respetivo debate. As respostas dadas pelos estudantes deram origem aos resultados.

Os resultados relativos ao tópico a) são apresentados na tabela 4.3 e resultam da análise das respostas às questões semi-abertas:

- Questão A - Concorda que a engenharia teve/tem um papel fundamental na insustentabilidade ambiental?
- Questão B - Espera que a engenharia/tecnologia seja a chave para alcançar a sustentabilidade?

Os resultados das respostas dos estudantes (tabela 4.4) mostram que antes do jogo quase todos os alunos têm expectativas muito positivas sobre o contributo da engenharia para a resolução do problema da insustentabilidade e que “a solução está na engenharia”. Isto pode indicar que estes estudantes veem o problema da insustentabilidade como uma questão técnica que pode ser resolvida através de soluções tecnológicas criadas pela engenharia. Pode inferir-se que os estudantes reconhecem um potencial papel essencialmente positivo da ação de engenharia e têm mais dificuldades em reconhecer a dimensão negativa desta ação. Contudo, se os profissionais de engenharia não reconhecerem as potenciais consequências negativas da ação de engenharia, não conseguirão tomar precauções ou tomar medidas para evitar ou mitigar essas consequências; ou seja, não vão exercer a profissão de forma mais consciente e responsável e tendo em vista a sustentabilidade. Os dados parecem indicar que após o jogo, parte dos alunos (uma diminuição de 90,5%-antes para 25%-depois do jogo) mudaram a sua visão do problema da sustentabilidade como uma questão meramente técnica.

Resultados relativos ao tópico b) (Promover o reconhecimento da complexa relação entre o desenvolvimento tecnológico e económico e a sustentabilidade (nomeadamente, como podem ser antagónicos, e os efeitos adversos da tecnologia e do aumento da sua eficiência - Rebound Effect) são apresentados na tabela 4.5 e resultam das respostas às questões semi-abertas:

- Questão C - O jogo ajudou-me a perceber que o foco no Nível do Desenvolvimento Tecnológico e no Nível do Desenvolvimento Económico podem ser antagónicos à sustentabilidade ambiental?
- Questão D - No jogo, o resultado prático (negativo) das melhorias tecnológicas deixou-me surpreendido?

- Questão E - O jogo ajudou-me a compreender o Rebound Effect?

De acordo com os registos da professora, houve uma forte reação de alguns alunos ao constatarem que os efeitos globais da melhoria da eficiência da tecnologia eram negativos. Os estudantes foram reclamar pensando que se tratava de um erro do jogo e que não havia qualquer base realista para tal: “Se melhorarmos a eficiência, o resultado global não pode ser negativo!”. Esta reação está de acordo com a visão estritamente técnica e limitada dos fenómenos, não abrangendo a complexidade e a imprevisibilidade da reação e do comportamento humano nas suas múltiplas dimensões, nem considerando a influência de uma nova tecnologia nos comportamentos individuais e coletivos.

Tabela 4.4 - Síntese das respostas às questões A e B.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
A Pré-jogo	A engenharia não tem/teve um papel fundamental na insustentabilidade ambiental	36,5%	74
	A engenharia tem/teve um papel fundamental na insustentabilidade ambiental	29,5%	
	Não tomar partido	33,8%	
B Pré-jogo	Não espero que a engenharia/tecnologia resolva o problema da insustentabilidade	1,4%	74
	Espero que a engenharia/tecnologia seja onde está a solução para o problema da insustentabilidade	90,5%	
	Não tomar partido	8,1%	
B Pós-jogo	Não espero que a engenharia/tecnologia resolva o problema da insustentabilidade	33,4%	72
	Espero que a engenharia/tecnologia seja onde está a solução para o problema da insustentabilidade	25,0%	
	Não tomar partido	41,7%	

De acordo com os dados da tabela 4.5, cerca de 87,6% dos alunos considerou que o jogo os ajudou a perceber/conhecer o Rebound Effect. Contudo, é necessário ter em conta que o jogo por si só não é suficiente para compreender este fenómeno complexo, pelo que é fundamental que haja um debate e explicação pós-jogo para esclarecer os alunos e aprofundar o tema. Dos resultados destaca-se ainda que 9,7% dos estudantes responderam que ainda não compreendem o que é. Isto poderá dever-se ao facto de alguns alunos faltarem às aulas de jogo, outros faltarem à aula de debate e esclarecimentos, e também ao facto de alguns alunos terem mais dificuldade em aceitar este conceito, que põe em causa as suas conceções sobre a mais valia inquestionável da eficiência da tecnologia. Mas, perante estas dúvidas dos estudantes, deve-se considerar que deveria haver mais tempo para o debate pós-jogo sobre esta questão, de modo a esclarecer melhor todos os estudantes.

Tabela 4.5 - Síntese das respostas às questões C, D e E.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
C Pós-jogo	O jogo ajudou-me bastante a compreender e a perceber que o foco no desenvolvimento tecnológico e económico pode ser antagónico à sustentabilidade ambiental	86,1%	72
	Não, de todo	5,6%	
	Não tomar partido	8,3%	
D Pós-jogo	No jogo, o resultado prático (negativo) das melhorias tecnológicas deixou-me surpreendido	62,5%	72
	Não, era o que eu esperava	13,9%	
	Não tomar partido	23,6%	
E Pós-jogo	O jogo ajudou-me muito a compreender o Rebound effect	29,2%	72
	Sim, mas já conhecia vagamente o Rebound effect	15,3%	
	Sim, mas só após o debate em aula	43,1%	
	Eu não fui à aula em que se jogou o jogo	1,4%	
	Não, porque ainda não percebi o que é	9,7%	

Também como contributo para o tópico b) foram feitas as questões (semi-abertas):

- Questão F - O jogo ajudou-me a perceber que não existem soluções ideais e que temos sempre que fazer escolhas (sacrificar um critério/aspecto em favor de outro), o que implica utilizar critérios, logo valores éticos?
- Questão G - A primeira parte do jogo ajudou-me a perceber/reconhecer que existem limitações desde o início (dependendo das condições geográficas, dos recursos naturais...) e que a distribuição de riqueza/recursos é desigual do ponto de vista natural/geográfico?
- Questão H - Durante o jogo, o objetivo de construir a “melhor” cidade levantou-me dúvidas sobre o que “melhor” realmente significa nesse contexto?

Os resultados das respostas são apresentados na tabela 4.6. Os resultados mostram que a maioria dos estudantes reconhece um papel positivo ao jogo na sensibilização para a desigualdade geográfica de recursos e na distribuição da riqueza. Neste ponto, é importante relembrar que os estudantes de engenharia estão entre aqueles que têm maior dificuldade em sentir empatia pelos outros [141], o que pode levar à indiferença, especialmente para com os mais vulneráveis. De acordo com os registos da professora que acompanhou a ação pedagógica, um aluno defendeu durante o debate pós-jogo que a II Guerra Mundial foi positiva porque instigou o desenvolvimento tecnológico (que depois da guerra foi um benefício para a humanidade) e que na guerra “só” morreram pessoas de forma mais concentrada; e outro aluno defendeu que a guerra foi positiva porque permitiu reduzir a população mundial. Estas duas visões sobre a guerra exemplificam uma visão técnica, centrada na tecnologia e/ou em números, onde está ausente a empatia por quem sofreu ou sofre os horrores da guerra, bem como as consequências extremamente nefastas da guerra ao nível da saúde (física e psíquica), da segurança, da economia, do ambiente e da utilização dos recursos naturais.

Ainda no âmbito do tópico b) mais resultados estão resumidos na tabela 4.7 e baseiam-se nas respostas às questões (semi-abertas):

- Questão I - O jogo ajudou-me a compreender a complexidade da rede de interdependências na sociedade atual e como isso torna a construção de uma opção “melhor” (cidade/sociedade) mais difícil/complexa?
- Questão J - Jogar o jogo antes da aula de debate ajudou-me a compreender melhor os temas?
- Questão K - O jogo ajudou-me a compreender que a sociedade, tal como está estruturada e como funciona, não resistirá aos impactos da insustentabilidade, aos seus efeitos em termos climáticos e ao fim dos recursos naturais?
- Questão L - No geral, considere o jogo uma boa ferramenta para promover a reflexão sobre a sustentabilidade da sociedade atual?
- Questão M - No geral, o jogo desestabilizou/alterou as minhas ideias pré-concebidas sobre o papel da tecnologia na sustentabilidade?

Tabela 4.6 - Síntese das respostas pós-jogo às questões I, J e K.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
F Pós-jogo	Sim, o jogo ajudou-me muito a compreender/reconhecer isso	95,8%	72
	Não, de todo	0%	
	Não tomar partido	4,2%	
G Pós-jogo	Sim, o jogo ajudou-me muito a compreender/reconhecer isso	61,1%	72
	Sim, o jogo ajudou-me um pouco a compreender/reconhecer isso	24,6%	
	Sim, mas só me apercebi disso depois do jogo e do debate em aula	11,1%	
	Eu não joguei porque faltei à aula	1,4%	
	Não concordo com a afirmação feita na questão	0	
	sim, mas tentei fazer o que é normal/esperado numa cidade	56,9%	
H Pós-jogo	Não, acho que sei o que torna uma cidade melhor que outra	1,4%	72
	Sim. Por isso, antes de iniciar a construção da cidade, discutimos o que torna uma cidade melhor do que outras	31,9%	
	Não, nem pensei nisso e simplesmente joguei	5,6%	
	Não, porque todos sabem o que significa ser “melhor”	1,4%	
	Não, mas tentei fazer uma cidade expectável/normal	1,4%	
	Não, fiz o que eu esperava ser uma cidade melhor	1,4%	

Segundo os registos da professora, os alunos criaram a primeira versão da sua “cidade” sem considerar qualquer interdependência entre as diversas infraestruturas, o que poderá ser um indicador de algum desconhecimento sobre o funcionamento da sociedade e a complexidade da realidade. Uma das cidades não tinha sequer qualquer forma de produção agrícola, e outra cidade, na sua versão inicial, só tinha centrais de produção de eletricidade (os alunos argumentaram que era para vender energia) o que indica uma visão económica e técnica da

sociedade onde os habitantes não foram considerados. Para a maioria dos estudantes, a existência de uma complexa rede de interdependência foi uma surpresa negativa.

Tabela 4.7 - Síntese das respostas às questões L, M, N, O e P.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
I Pós-jogo	Sim, o jogo ajudou-me muito a compreender/reconhecer isso	95,8%	72
	Não, de todo	0%	
	Não tomar partido	4,2%	
J Pós-jogo	Sim, jogar o jogo antes da aula de debate foi muito importante para melhor compreender os temas em debate	95,8%	72
	Não, o jogo era totalmente dispensável	0%	
	Não tomar partido	4,2%	
K Pós-jogo	Sim, o jogo ajudou-me muito a compreender/reconhecer isso	80,5%	72
	Não me ajudou em nada	4,2%	
	Não tomar partido	15,3%	
L Pós-jogo	Sim, o jogo é uma boa ferramenta para promover a reflexão sobre a sustentabilidade da sociedade atual e futura	97,2%	72
	Não, de todo	0%	
	Não tomar partido	2,8%	
M Pós-jogo	Sim, o jogo desestabilizou/alterou as ideias pré-concebidas que tinha sobre o papel da tecnologia na sustentabilidade	48,6%	72
	Não, de todo	23,6%	
	Não tomar partido	27,8%	

Os resultados confirmam também a importância do jogo não ser visto como uma ferramenta pedagógica isolada, mas ser um conjunto com o debate para a consolidação e aprofundamento dos temas.

Os resultados relativos ao tópico c) (o reconhecimento dos alunos sobre a sua própria aprendizagem e o papel desempenhado pelo jogo neste processo) têm em conta várias questões. As primeiras deram origem aos resultados que são apresentados nas tabelas 4.8 e 4.9 e que resultam respetivamente da análise das respostas às questões semi-abertas (pós-jogo):

- Questão N - O que mais te surpreendeu no jogo?
- Questão O - O jogo permitiu-te aprender algo sobre o papel da tecnologia/ engenharia na sociedade atual e na (in)sustentabilidade?

Da tabela 4.8 conclui-se que a maioria dos estudantes ficou surpreendido com a complexidade da rede de interdependências na sociedade atual e as suas implicações, e com os efeitos nefastos que a melhoria da eficiência tecnológica provocou, o que vai ao encontro da tendência dos estudantes e dos profissionais de engenharia apenas “ver” os efeitos positivos da tecnologia. Este problema da “visão” pode estar enraizado nos currículos académicos e na visão dos próprios professores [235].

Tabela 4.8 - Síntese das respostas pós-jogo à questão N.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
N Pós-jogo	A dificuldade em construir/gerir uma cidade	16,7%	72
	A existência de tantos limites e restrições diferentes	27,8%	
	A complexidade que resultou das muitas interdependências	25%	
	Os efeitos nefastos que a melhoria da eficiência tecnológica provocou	25%	
	Os efeitos dos fenómenos meteorológicos extremos e os efeitos do fim dos recursos naturais	2,8%	
	Outro: “Acho que é uma mistura de todas estas alternativas. Fiquei surpreendido com a complexidade da gestão de uma cidade, com diferentes limites e restrições, a complexidade das interdependências. No geral, fiquei surpreendido com todos estes pontos. Não me recorde de ter tido um pensamento mais crítico em relação à gestão de uma cidade. [Antes] era tudo muito superficial.”	1,4%	
	Outro: “A dificuldade de construir/gerir uma cidade e a existência de tantos limites e restrições diferentes”	1,4%	

Tabela 4.9 - Síntese das respostas pós-jogo à questão O.

Questão	Respostas	% de respostas	Total de respostas
G Pós-jogo	Aprendi coisas novas que não sabia antes	83,3%	72
	Não, não aprendi nada	1,4%	
	Não tomar partido	15,3%	

Para os resultados relacionados com o tópico d) (Promover a criatividade dos estudantes para imaginar futuros mais sustentáveis e justos) foi pedido aos estudantes que propusessem soluções para alcançar a sustentabilidade a nível mundial, antes e após o jogo. O foco da análise foi avaliar se, após o jogo, a visão do problema da sustentabilidade foi alargada para além da estreita dimensão da técnica, e da criatividade/imaginação das propostas apresentadas. Foram ainda analisadas as características das respostas (complexidade, dimensão e razoabilidade).

No contexto pré-jogo, foi proposto aos alunos que se imaginassem como um “líder mundial para a sustentabilidade” e na perspetiva de poder ilimitado, fizessem pelo menos uma proposta criativa, ousada e inovadora para promover a sustentabilidade ambiental. A análise das respostas pré-jogo (tabela 4.10) permitiu concluir que:

- Do total de 74 alunos, 72 responderam a esta questão, dos quais 2 responderam “não sei”. No total, as respostas incluíram 131 propostas (em 70 alunos que responderam com pelo menos 1 proposta).
- Em média, as respostas apresentadas continham 30,16 palavras, com um desvio padrão de 22,16. A resposta com mais palavras tinha 113 palavras e a que tinha menos palavras, tinha 4 palavras. A maioria das respostas continha menos de 42 palavras.
- Várias respostas (9,7%) referiram palavras como criar/desenvolver/desenvolvimento, o que pode indicar uma tendência para centrar o problema da

(in)sustentabilidade no desenvolvimento tecnológico. Alguns exemplos de excertos das respostas (como: “criar equipamentos/eletrodomésticos que consumam muito pouca energia”; “comprometer-se com o desenvolvimento de um novo tipo de combustível capaz de não produzir emissões”; “criar outro combustível mais barato e acessível”), demonstram uma confiança na tecnologia como solução para o problema e, como tal, a redução do problema a uma questão de eficiência técnica ou de inovação tecnológica. Outros demonstram total confiança na engenharia para resolver o problema da insustentabilidade: “Teria em conta uma equipa de engenheiros (de diferentes áreas) em que confie nas suas competências e valores. Elaborava uma reunião para a discussão de ideias, (...) desenvolver uma solução para cada problema.”; “Para promover a sustentabilidade ambiental, tentaria reunir todas as áreas da engenharia e não só, de forma a explorar o melhor de cada uma e tentar desenvolver técnicas e tecnologias de forma a continuar a evolução (...), sem danificar ou prejudicando o [meio ambiente], pois não está nas melhores condições e é algo que com o avanço da tecnologia pode ser resolvido ou pelo menos tentar encontrar soluções.”.

- Apesar do tema da sustentabilidade ambiental ser um tema tão frequente, 8,3% dos alunos nas suas respostas referem dificuldades na abordagem do tema ou na elaboração de propostas. Isto indica a necessidade urgente de mais formação sobre sustentabilidade nos cursos de engenharia (nomeadamente de engenharia eletrotécnica). Mas alguns alunos demonstraram algum grau de consciência sobre a complexidade do problema da sustentabilidade, apesar das respostas dadas não serem muito criativas ou inovadoras. As respostas foram analisadas e organizadas em categorias (não exclusivas) e são apresentadas na tabela 4.10.
- Quase todas as propostas estavam em linha com o discurso público mais comum: energias renováveis (também referidas como “limpas”), transportes e veículos elétricos, reciclagem e reutilização, redução de sacos de plástico. As propostas mais ousadas foram: limitar os lucros mínimos e máximos (citadas 4 vezes); limitar/reduzir a produtividade (mencionado 4 vezes); e mudar toda a economia global (mencionado 3 vezes). A melhoria da eficiência energética dos equipamentos foi referida 7 vezes, e a proposta de redução de preços foi feita duas vezes, embora não tenham explicado como é que isso poderia melhorar a sustentabilidade. Algumas respostas demonstraram também algum sentido crítico, como exemplos: “Assumindo que somos todos iguais, ninguém deve viver acima do que é considerado justo para uma vida sem percalços, e ninguém deve viver abaixo disso... ou seja, distribuir equitativamente os recursos disponíveis”; “É impossível alcançarmos um planeta completamente sustentável sem mudar drasticamente o estilo de vida que temos e toda a forma de pensar a humanidade.”.

Após o jogo, os alunos foram convidados a responder à seguinte questão aberta: “A ONU diz que para alcançar a sustentabilidade é necessário fazer uma transformação profunda na forma como a sociedade funciona. Que mudanças/transformações ousadas e criativas considera necessárias para alcançar a sustentabilidade?”. A síntese das respostas é apresentada na tabela 4.10. Setenta e três alunos responderam a esta questão (1 aluno não respondeu). A média de palavras em cada resposta foi de 93,49 com um desvio padrão de 87,80. A resposta mais elevada continha 393 palavras e a mais pequena 7 palavras. Cerca de 30% das respostas tinham mais de 81 palavras. Comparando com a situação pré-jogo, verifica-se um grande aumento no tamanho das respostas. O aumento das propostas referidas pelos alunos e do tamanho das respostas pode ser um indicador de que, após o jogo, os alunos tiveram mais conhecimento sobre o tema da (in)sustentabilidade e uma visão mais abrangente sobre o assunto.

No total, foram contabilizadas 290 propostas (de 72 alunos que responderam à questão):

- 12 das respostas foram muito vagas (por exemplo, “Reduzir a degradação do nosso planeta”);
- 23 respostas eram potencialmente insustentáveis (por exemplo, “minimizar os custos de produção e baixar os preços dos produtos”);
- 3 não foram claras sobre como afetariam a sustentabilidade, nem o seu sentido de causa/efeito (por exemplo, “As empresas terem um ginásio”; “Selecionar profissões para erradicar a pobreza”).

Tabela 4.10 - Síntese das categorias relativas às respostas sobre as mudanças/transformações que os alunos consideram necessárias para atingir a sustentabilidade (pré-jogo).

Pré-jogo		
Nº de referências	Categorias	Posição relativa
22	Uso de energias renováveis	1º
16	Mais e melhores transportes públicos	2º
10	Multas/coimas/incentivos fiscais	3º
10	Reciclar/reutilizar	3º
8	Fim dos carros a combustão interna	4º
7	Equipamentos com maior eficiência energética	5º
6	Uso de veículos elétricos	6º
5	Fim dos sacos de plástico/plásticos	7º
4	Limitar/reduzir a produtividade	8º
4	Reflexão/educação	8º
4	Limitar os rendimentos mínimo e máximo	8º
3	Mudar toda a economia global	9º
3	Reduzir o consumismo	9º
2	Mais engenheiros	10º
2	Redução do desperdício alimentar	10º
2	Reduzir o consumo de combustíveis fósseis	10º
2	Reduzir os preços	10º
2	Criar combustível barato e não poluente	10º
2	Reduzir os produtos químicos agrícolas	10º
2	Reduzir a extração de recursos	10º
Total de propostas		116

A análise das respostas permitiu concluir que o alcance e variedade das propostas aumentaram consideravelmente em comparação com as respostas pré-jogo, contendo propostas mais complexas e com maior impacto, não só na dimensão (escala planetária), mas também na incorporação de temas mais aprofundados, como a distribuição justa dos recursos (económicos, tecnológicos e naturais) entre os países; o Rebound Effect; os efeitos nefastos do uso da tecnologia; a dimensão da educação e da sensibilização; o excessivo consumo, produção e distribuição de alimentos. Foram ainda feitas propostas que mostram consciência do papel da tecnologia e da engenharia na sustentabilidade e na insustentabilidade. As categorias das propostas pós-jogo (não exclusivas) são apresentadas na tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Síntese das categorias relativas às respostas sobre as mudanças/transformações que os alunos consideram necessárias para atingir a sustentabilidade (pós-jogo).

Pós-jogo		
Categorias	Nº de referências	Posição relativa da correspondente categoria no pré-jogo
Uso de energias renováveis	33	1 °
Educar para a sustentabilidade	28	8 °
Reciclagem/reutilização de bens e água	27	3 °
Limitar o consumo	19	9 °
Mais coimas e fiscalização	18	3 °
Desenvolver os países mais pobres/reduzir a pobreza	14	-
Incentive o uso do transporte público	14	2 °
Precisa-se de mudar a mentalidade	9	-
Menos energia nuclear e combustíveis fósseis	9	10 °
Regular/limitar a produção industrial	7	8 °
Maior utilização de veículos elétricos	7	6 °
Aumentar a eficiência da tecnologia e dos processos	7	5 °
Menos exploração de recursos	6	10 °
Reduzir os preços	6	10 °
Menor utilização de plásticos	5	7 °
Reduzir o transporte motorizado	5	-
Crie tecnologia mais durável e reparável	5	-
Melhorar a tecnologia e a sua distribuição mundial	4	-
Desenvolver novos meios de transporte	4	-
Menos desigualdade na distribuição de bens e recursos	3	-
Eliminar os motores de combustão	3	4 °
Compensar a poluição com a reflorestação	3	-
Limpar oceanos ou cidades	2	-
Mais regras e limites no desenvolvimento tecnológico	2	-
Criar medidas para limitar o Rebound Effect	2	-
Menor utilização de produtos químicos na agricultura	2	10 °
Utilização de energia barata: nuclear	2	-
Diminuir a poluição e os gases com efeito de estufa	2	-
Desarmamento nuclear/paz	2	-
Total de propostas	250	

Apesar da grande melhoria nas propostas apresentadas após o jogo e o debate, algumas respostas ainda mostram que os alunos necessitam de mais formação na área da sustentabilidade (ex: “Uma das ideias que também iria colocar seria a reutilização de roupas e tecidos não usados para a queima (porém não tenho informação suficiente se na queima destes

tecidos se libertam gases muito tóxicos)"); e alguns têm pouco conhecimento sobre o que já é feito (ex. "Sistemas de reconhecimento para que não haja rega em dias de chuva ou húmidos"). Algumas respostas são também superficiais, acríticas e irrefletidas (por exemplo, "criação de uma maneira não poluente de enviar para o espaço grandes quantidades de resíduos (como por exemplo, roupas usadas, eletrodomésticos, etc)."; "Uma máquina que produz alimentos já confeccionados, com qualquer tipo de material como combustão"). A falta de formação na área da sustentabilidade pode explicar a tendência para os alunos sugerirem as opções mais conhecidas (por ex.: reciclagem e energias renováveis/"limpas"). No entanto, é necessário ter em conta que alguns alunos faltaram às aulas em que decorreu o jogo e o debate.

Algumas propostas mostram a crença na utopia tecnológica em que a tecnologia é vista como exclusivamente benéfica (e.g. "Utilizar o teletransporte") e em que é vista como a solução para qualquer problema, nomeadamente a sustentabilidade (e.g. "Criar uma máquina para controlar o clima"). Esta visão "salvadora" da tecnologia é também evidente nas propostas que defendem as energias renováveis ou os veículos elétricos, associando-os ao termo "limpo". Onze das respostas depositam esperança na criação ou desenvolvimento de uma nova tecnologia.

Outras respostas revelam um sentido mais reflexivo e crítico sobre o papel do desenvolvimento tecnológico, mostrando alguma capacidade de ir além do pré-definido e alguma empatia: "deviam haver regras sobre a criação e desenvolvimento de tecnologia, em que se estas não forem sustentáveis ou se não é possível inverter o processo (...) não devem ser desenvolvidas (...). Claro que isto significará que não há tanto desenvolvimento tecnológico, mas, no entanto, não agravam a insustentabilidade ambiental (...); "(...) alterar o uso da tecnologia para que esta fosse "para todos" e não pudesse ser comercializada; isto significava que cada país poderia ter acesso à tecnologia (...) mas a capacidade desta tecnologia para produzir melhor (mais eficientemente) não deveria ser usada para produzir mais quantidade."

4.2.4 - Conclusões específicas

A proposta da abordagem pedagógica desenvolvida inclui um jogo de tabuleiro educativo aplicado em sala de aula e um debate após o jogo, em sala de aula. O jogo pretende utilizar a criatividade e a imaginação como ferramenta para promover o envolvimento pessoal, a integração, a atribuição de significado e o envolvimento emocional. A criatividade permite aos jogadores irem além de um pequeno conjunto de opções pré-definidas, tornando assim a aprendizagem mais personalizada e promovendo a construção da empatia e do desenvolvimento da sensibilidade ética. Todos estes aspetos são fundamentais para uma educação ambiental que pretenda promover uma visão e ação transformadora com vista à sustentabilidade [217].

Neste sentido, o jogo ajuda a formar profissionais mais conscientes e com mente aberta para atuarem de forma mais responsável e criativa face à atual crise ambiental.

Um dos objetivos do jogo foi desconstruir alguns pressupostos típicos da visão dos estudantes (e profissionais) de engenharia, nomeadamente a sua visão centrada na eficiência, produtividade, rentabilidade económica, e desenvolvimento tecnológico; bem como na visão dos problemas sociais ou ambientais como problemas estritamente técnicos [225]. Esta visão está também associada à conceção de tecnologia e da engenharia como estritamente positivas, uma vez que ignora ou despreza os efeitos negativos que podem ocorrer em consequência da utilização da tecnologia, especialmente a nível social e ambiental (aspetos que normalmente não são tidos em conta na análise de viabilidade de uma tecnologia, que normalmente incorpora apenas a dimensão técnica e económica) [33]. Assim, o jogo desenvolvido ajuda a sensibilizar os alunos para o papel da engenharia na (in)sustentabilidade, para a complexidade das interações entre a tecnologia e o ambiente, a sociedade e a economia.

Os resultados mostram que após o jogo e o debate, diminuiu (de 90% para 25%) a percentagem de alunos (dos que participaram no estudo) que defendem uma visão estritamente técnica do problema da (in)sustentabilidade, bem como uma visão da tecnologia como estritamente positiva. A perceção dos alunos foi que o jogo contribuiu para a sua aprendizagem e descoberta de algumas questões importantes, nomeadamente:

- a complexidade das inter-relações e interdependências da estrutura e funcionamento da sociedade atual e como isso limita as opções possíveis;
- as consequências nefastas e/ou imprevistas da tecnologia a nível social e ambiental;
- o papel (nem sempre positivo) da tecnologia e da engenharia na (in)sustentabilidade; as possíveis consequências nefastas do aumento da eficiência tecnológica (considerando, por exemplo, o Rebound Effect);
- a necessidade de repensar o funcionamento da sociedade contemporânea tendo em conta a sustentabilidade.

A inclusão do jogo de tabuleiro na prática pedagógica permitiu incluir uma dimensão associada ao uso da imaginação que raramente é incluída no ensino da engenharia [235]. O uso da imaginação permite aos alunos colocarem-se no lugar dos outros, bem como imaginar novos futuros possíveis. Para [217], imaginar novos futuros desejáveis é essencial para promover mudanças transformadoras. Os resultados mostram que após o jogo, os alunos foram capazes de imaginar mais propostas, e que estas eram mais abrangentes e com uma maior presença de alguma criatividade. Os resultados sugerem ainda que há necessidade de aumentar a formação na área da sustentabilidade, nomeadamente nos cursos de engenharia eletrotécnica. Apesar de se ter pedido aos estudantes que propusessem propostas “criativas, ousadas e inovadoras”, muitos estudantes persistiram em propostas frequentes/comuns de natureza tecnológica.

Globalmente, os resultados confirmam que a abordagem educativa proposta é particularmente adequada para melhorar a formação na ampla área da educação ambiental,

especialmente no que diz respeito ao objetivo de alterar a visão/concepção pré-definida e estritamente técnica dos estudantes de engenharia relativamente à sustentabilidade, para uma visão mais ampla e complexa. Outro efeito do jogo foi abrir o caminho para um debate e uma formação mais eficazes (pós-jogo), uma vez que o jogo levantou questões e expôs os alunos ao inesperado e às complexidades do mundo real. Adicionalmente, o jogo permitiu que os alunos vissem a profissão que escolheram (engenharia) de um ponto de vista novo, mais abrangente e completo, incluindo as dimensões negativas que lhe podem estar associadas. Isto ajuda a formar profissionais mais responsáveis e conscientes.

O jogo revelou-se também eficaz para ajudar a formação ética dos estudantes, nomeadamente na dimensão ética das escolhas/tomadas de decisões e no conceito de “melhor” ou desejável. O estudo que se descreve neste ponto e o jogo desenvolvido são importantes contributos para a promoção da formação ética em engenharia interligada com a promoção da sustentabilidade. Espera-se que os alunos que experienciaram esta abordagem educativa venham a ser mais eticamente responsáveis e se envolvam na construção mais responsável de um futuro comum mais sustentável. Naturalmente, tais considerações carecem de estudos adicionais. O exercício profissional da engenharia de forma mais ética e responsável é também fundamental na procura de soluções para a atual crise ambiental, nomeadamente na escolha ética e consciente dos caminhos tecnológicos a seguir.

São necessários estudos adicionais também para compreender os fatores que levaram alguns alunos a manter uma perspetiva limitada a uma concepção de determinismo tecnológico após o jogo, e também é necessário estudar o impacto do jogo quando aplicado a estudantes de outras áreas da engenharia.

4.3 - Atividade pedagógica sobre correntes éticas contemporâneas

Com o objetivo geral de proporcionar a aprendizagem ou a consolidação de conhecimentos sobre conceitos básicos e sobre as correntes éticas contemporâneas, foi desenvolvida uma ferramenta pedagógica que pode ser usada em sala de aula ou pode ser usada de forma autónoma pelos estudantes, quer para aprendizagem, quer para consolidação de conhecimentos ou para auto-avaliação. A ferramenta pedagógica desenvolvida é uma estrutura flexível e reconfigurável que permite criar jogos digitais do tipo “escape room” para aprendizagem ou consolidação de conhecimentos em qualquer área. No presente exemplo de aplicação, a ferramenta foi aplicada à aprendizagem sobre correntes éticas contemporâneas, mas o jogo pode ser readaptado para outros fins.

Usando a ferramenta desenvolvida foi criado um jogo educativo digital do tipo “escape room” (designado de EdScape), em que os estudantes têm que ultrapassar um conjunto de

desafios (com diversos formatos) que lhes permitem encontrar pistas para conduzir uma personagem a sair de uma sala. O jogo é para ser jogado individualmente. A implementação técnica do jogo foi feita pelas estudantes de Mestrado Ana Rita Santos (MEIC-FEUP) e Celina Mo Zheng (MEEC-FEUP) no ano letivo 2021/2022:

- Mo Zheng, C. (2022). EdScape - Sistema web de condecorações e Mini Jogos a utilizar em Escape Room Educativos. Dissertação de Mestrado: FEUP, Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. <https://hdl.handle.net/10216/142590>
- Santos, A. R. F. (2022). EdScape - Framework for Learning with Virtual Escape Rooms - 3D environment. Dissertação de Mestrado: FEUP, Mestrado em Engenharia Informática e Computação. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/142734/2/571925.pdf>

4.3.1 - Objetivos específicos de aprendizagem

Do ponto de vista pedagógico, os objetivos de aprendizagem podem diferir de acordo com a intencionalidade do uso do jogo por parte do/a docente. O jogo disponibiliza informação sobre alguns conceitos, pelo que no exemplo descrito neste ponto foi usado para aprendizagem de conceitos básicos da área da ética, nomeadamente os conceitos de:

- Micro ética / macro ética;
- ética / moral / deontologia;
- Ética das virtudes / Ética utilitarista / Ética deontológica.

O jogo pode ser usado para proporcionar o primeiro contacto com os conceitos, se for usado antes dos conceitos terem sido lecionados em sala de aula, mas também pode ser usado para consolidação de conhecimentos (se for usado após a leção dos conceitos em sala de aula). O jogo recorre a vários desafios/puzzles/questionários sobre os conceitos, para além de disponibilizar informações sobre os conceitos (o que permite aos estudantes esclarecer dúvidas que tenham, ou aprender os conceitos).

Uma vez que o jogo tem vários desafios e questões, também pode ser usado pelos estudantes para auto-avaliação, o que pode ser útil para preparar os estudantes para uma avaliação formal.

Também foi um objetivo que no jogo se incentivasse a promoção de um comportamento ético e responsável. Para isso, foi criado um botão/opção “ainda não sei” que pretende incentivar à honestidade e à pró-atividade no próprio processo de aprendizagem.

4.3.2 - Descrição do jogo

Para motivar e envolver os estudantes no jogo, pretendeu-se evocar a experiência pessoal dos estudantes, lembrando aspetos da vida académica na narrativa do jogo. Desta forma, pretendeu-se aumentar a familiaridade dos estudantes e potenciar a envolvimento e atribuição de sentido à experiência do jogo. O facto de ser referida uma hipotética avaliação pretendeu aumentar o empenho do estudante, logo a sua aprendizagem.

O objetivo do jogo do ponto de vista de cada jogador é abrir a porta e sair da sala; para tal terá que ir resolvendo pequenos desafios, que permitem colecionar objetos, e lhe permitem abrir a porta. A ordem da resolução dos desafios não interfere com o sucesso do jogo.

O jogo decorre num espaço semelhante a um escritório onde estão secretárias, armários e cadeiras, tal como mostra a figura 4.6. Sobre os móveis estão diversos objetos: documentos, papéis, fotos, panfletos. Alguns dos elementos contêm conteúdos/informação relevante e outros são adereços só para decorar ou dificultar a descoberta dos que têm relevância.

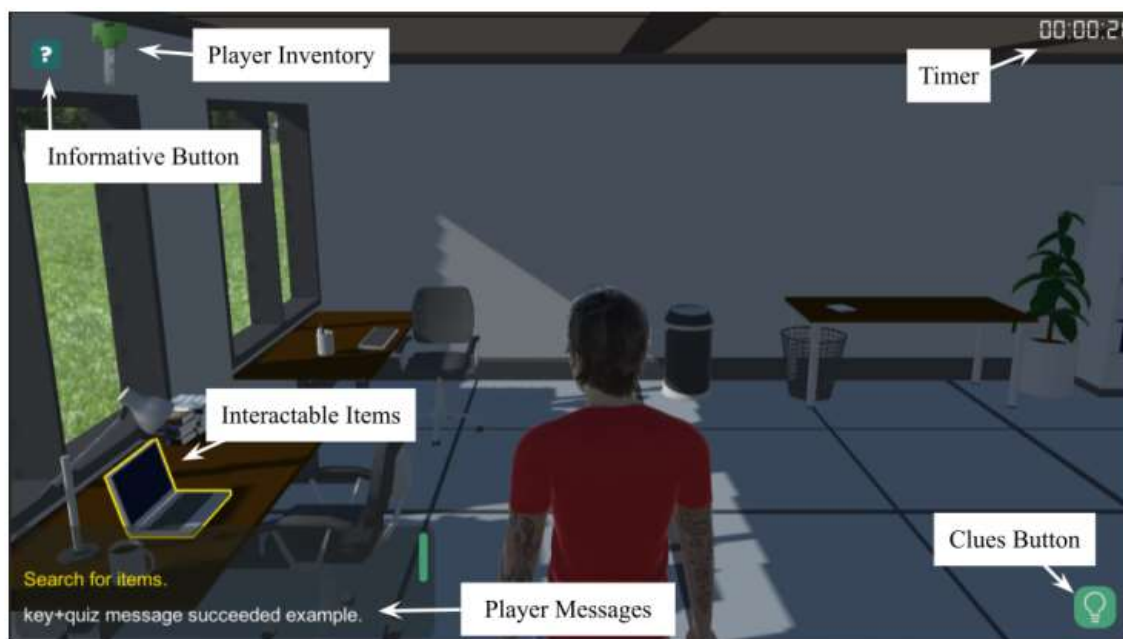


Figura 4.6 - Ambiente do jogo EdScape (retirado de [238]).

Em cima das secretárias ou afixados na parede estão documentos com os conceitos que são abordados nos questionários/desafios. O jogador pode ler cada documento. Para associar o jogo com a área da engenharia eletrotécnica, pretendeu-se colocar cartazes dessa área nas paredes (imagens sobre equipamentos ou tecnologia em desenvolvimento desta área).

Do ponto de vista do funcionamento do jogo, o jogador vai circular pelo escritório e fazer a procura pela ordem que quiser. Vai tentando descobrir os objetos que escondem desafios. O jogador também pode aceder e ler a informação que consta das folhas que estão sobre a secretária ou afixadas nas paredes.

Perante um desafio, se o jogador não souber qual é a resposta, pode optar por:

- escolher o botão “ainda não sei” e voltar para o escritório de novo, continuando a sua exploração (mais tarde, quando já souber mais informações, pode voltar a ir jogar esse mini desafio: isso fica registado, mas não tira pontos). Se na próxima tentativa acertar recebe uma mensagem: “Parabéns por teres procurado a informação e aprendido!”, que incentiva a honestidade e a pró-atividade no próprio processo de aprendizagem;
- fazer múltiplas tentativas até acertar (por tentativa erro): neste caso pode apenas estar a tentar acertar sem aprender, pelo que o jogador perde pontos por cada tentativa (considera-se que pode haver desonestidade e ser uma tentativa de recorrer a formas pouco lícitas para resolver o seu problema);
- se souber, aceita responder ao mini desafio à 1ª tentativa, e se acertar prossegue no jogo e recebe um código;
- se aceita responder ao mini desafio à 1ª tentativa, e errar, perde pontos: depois pode optar por escolher o botão “ainda não sei” e voltar para o escritório de novo, continuando a sua exploração; ou voltar a tentar (se errar considera-se uma situação equivalente à opção “tentativas múltiplas”); se acertar segue no jogo e recebe um código.

A aprendizagem pode ser feita na consulta dos documentos que estão na secretária ou na parede (ou pesquisando online por conta própria). Estes documentos têm informações que facilitam a resposta aos desafios.

A narrativa de introdução é:

“Estás sozinho numa sala de estudo e acabaste de receber uma mensagem de um colega, que te lembrou que daqui a 30 min tens uma avaliação à Unidade Curricular de “Ética na Engenharia”. Com a pressa, bates contra a mesa e os livros e apontamentos caem. Ao cair, os papéis espalham-se pela sala. Devido ao vento que entra pela janela aberta, a porta fecha-se com estrondo e ficas trancado na sala. Precisas de estudar e de arranjar uma forma de abrir a porta em simultâneo. Para tua sorte, se resolveres os 8 desafios que estão espalhados pela sala consegues estudar e simultaneamente recolher 8 objetos que te permitem obter o código para abrires a porta. Tens 30 minutos, que é tempo suficiente para resolver os desafios, estudar e sair!”

No jogo é irrelevante a ordem de resolução dos desafios, pois o que importa é concluir todos os desafios (um sinalizador informa quantos desafios têm de ser cumpridos e vai decrescendo sempre que um desafio é ultrapassado). Alguns exemplos dos desafios são:

1 - Ligar lista de designações com os seus conceitos/definições (Ética das virtudes / Ética utilitarista / Ética deontológica):

- Tem em conta a intenção e as consequências, e baseia-se no desenvolvimento da predisposição para a prática dos valores como a honestidade, a justiça, a generosidade, a prudência (desenvolver um caráter desejável).
- Entendemos o princípio segundo o qual toda a ação, qualquer que seja, deve ser aprovada ou rejeitada em função da sua tendência de aumentar ou reduzir o bem-estar das partes afetadas pela ação.
- Devemos agir racionalmente, motivados pelo dever de fazer o que está certo, independentemente das consequências.

2 - “Colocar etiquetas” em “imagem” (figura 4.7): Etiquetas: ética / moral



Figura 4.7 - Exemplos de desafio do tipo “Colocar etiquetas” em “imagem”.

3 - Ligar as palavras micro ética e macro ética aos seus conceitos:

- Ética aplicada ao agir de cada indivíduo nas suas ações públicas ou privadas.
- Ética associada com as consequências para o coletivo/comum do somatório das ações individuais.

6 - Associar cada pergunta com ética ou deontologia:

- O que devo fazer perante este caso?
- Como nos devemos comportar na vida profissional?
- Como nos devemos comportar na vida?
- Que tipo de sociedade é desejável?
- Que decisão devo tomar?
- Que valores devem orientar as minhas decisões?
- Que deveres tenho de cumprir?
- Qual é o comportamento certo?
- Porque é que este comportamento é correto ou incorreto?
- Que atos ou decisões me são proibidos enquanto profissional?
- Que normas tenho de cumprir?

Ao acertar nos desafios, o jogador coleciona objetos. Após recolher todos os objetos consegue sair da sala. Ao longo do jogo há frases de incentivo, de orientação ou de alerta que são usadas para ajudar ou motivar o jogador.

Apesar do jogo EdScape ter sido aplicado à formação ética e deontológica de estudantes de engenharia, este foi criado com vista à sua utilização educativa mais abrangente [238] [239]. Para isso, este foi desenhado para que os docentes possam alterar os conteúdos educativos do jogo (quer os conteúdos que são disponibilizados durante o jogo para fins de aprendizagem, quer dos conteúdos dos desafios).

Para averiguar a eficácia do jogo para a aprendizagem dos conceitos abordados durante o jogo foram feitos inquéritos pré e pós-jogo. O jogo foi aplicado a estudantes de engenharia da FEUP que não tinham tido nenhuma formação prévia em ética e deontologia (responderam ao inquérito 14 estudantes). Os resultados do inquérito pré-jogo são apresentados na tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Resultados do inquérito pré-jogo relativamente à perceção dos estudantes sobre o seu conhecimento sobre os conceitos abordados no jogo.

	Ética	Deontologia	Moral	Micro ética	Ética utilitarista	Macro ética	Ética das virtudes	Ética deontológica
Nunca ouvi falar e não sei nada sobre o assunto	0	3	0	9	7	10	12	7
Já ouvi falar, mas não sei quase nada sobre o assunto	1	7	1	4	4	3	2	2
Tenho apenas conhecimentos básicos sobre o assunto	4	2	4	1	3	1	0	4
Tenho alguns conhecimentos, mas não domino o assunto	7	2	5	0	0	0	0	1
Tenho muitos conhecimentos e domino o conceito	2	0	4	0	0	0	0	0

A análise da tabela 4.12 mostra que antes do jogo os estudantes consideram que já conhecem os conceitos de ética e moral, mas no geral desconhecem os restantes conceitos (deontologia, micro e macro ética, ética utilitarista, ética das virtudes e ética deontológica). O conceito de ética das virtudes é o menos conhecido pelos estudantes.

Ao inquérito final apenas responderam 7 estudantes. Os resultados são apresentados na tabela 4.13.

Os resultados após o jogo mostram que com excepção do conceito de ética utilitarista, a maioria (mais de 50%) dos estudantes consideram que aprenderam algumas coisas relevantes ou várias coisas relevantes, isto é, o jogo teve “algum” ou “bastante” efeito na aprendizagem dos conceitos. Os melhores resultados ocorreram para o conceito de ética que também era o conceito que os estudantes já consideravam conhecer melhor antes do jogo. Isto pode indicar que este jogo será mais adequado para a consolidação de conhecimentos/conceitos que tenham sido previamente abordados/estudados em sala de aula do que para a aprendizagem de novos conceitos.

Tabela 4.13 - Resultados do inquérito pós-jogo relativamente à percepção dos estudantes sobre o efeito do jogo nos seus conhecimentos sobre os conceitos abordados no jogo.

	Ética	Deontologia	Moral	Micro ética	Ética utilitarista	Macro ética	Ética das virtudes	Ética deontológica
Nenhum - não se alteraram	0	0	0	0	2	0	0	0
Muito pouco - sei quase o mesmo que antes	0	1	0	2	2	2	3	3
Algum - aprendi algumas coisas relevantes	5	5	6	2	2	5	4	4
Bastante - aprendi várias coisas relevantes	1	1	1	3	1	0	0	0
Muito - aprendi muitas coisas que desconhecia	1	0	0	0	0	0	0	0

4.3.3 - Conclusões específicas

A principal mais valia da ferramenta desenvolvida (jogo digital EdScape) é que é uma ferramenta flexível e adaptável a várias áreas do saber e tipo de conteúdos. Os resultados da aplicação do jogo à área da formação ética apontaram para que o jogo será mais adequado à consolidação de conhecimentos do que à aprendizagem dos conceitos básicos da área da ética. Tal poderá dever-se à complexidade e nível de abstração dos conceitos em causa.

O facto de ser um jogo digital permite a sua fácil aplicação em turmas com grande número de alunos. Como é um jogo para ser jogado individualmente, poderá ser usado fora da sala de aula sempre que o aluno queira testar ou consolidar os seus próprios conhecimentos e também pode ser usado como preparação para a aprendizagem em sala de aula, numa metodologia de sala de aula invertida. O jogo deverá ser usado como um complemento à formação ética em sala de aula.

4.4 - Conclusões do capítulo

Os estudos descritos neste capítulo permitiram desenvolver e avaliar três ferramentas pedagógicas desenvolvidas com vista a responder à subquestão Q2 de investigação (Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?), relativamente à sua aplicação em unidades curriculares específicas de formação ética (Q2.1).

Os dois jogos de tabuleiro desenvolvidos foram desenhados para alunos de engenharia eletrotécnica, pois focam atividades e profissionais dessa área (caso do jogo descrito no ponto 4.1: Ethical Betrayal); ou focam aspetos tecnológicos da área da engenharia eletrotécnica (como é exemplo o forte foco na produção de energia elétrica do jogo descrito no ponto 4.2: GiSphera - building). O jogo digital (EdScape) foi desenvolvido para qualquer área da engenharia, uma vez que foca conceitos básicos do domínio da ética.

O desenvolvimento do jogo digital permitiu experimentar outro formato de jogos educativos. A grande potencialidade dos jogos digitais é a sua potencial aplicabilidade a um grande número de jogadores, o que poderá ser benéfico quando aplicado em turmas de grandes dimensões. Outra grande vantagem dos jogos no formato digital é o facto de poderem ser jogados fora do contexto da sala de aula e poderem ser jogados em qualquer altura que o estudante ache mais adequada. Isto torna este formato muito apropriado para ensino/aprendizagem a distância.

Apesar dos referidos benefícios dos jogos digitais, constata-se que estes implicam um custo de investimento muito superior aos jogos de tabuleiros e um tempo de execução também muito superior. Se o docente não dominar a execução técnica do jogo, terá de contratar profissionais para a sua execução; e quanto menor for a equipa de trabalho, mais demorada é a sua execução. Isto pode constituir um entrave ao desenvolvimento de jogos digitais e ao uso do ensino baseado em Jogos como estratégia pedagógica.

Por outro lado, os jogos digitais podem não permitir ou podem dificultar a interação entre os estudantes. Os jogos de tabuleiro que são jogados em equipa potenciam o relacionamento interpessoal e de certa forma simulam uma situação prática de negociação e trabalho em equipa, contrariando a tendência atual para o isolamento social [240].

Outro aspecto importante sobre os jogos digitais é que atualmente os estudantes têm acesso a jogos digitais profissionais de elevada qualidade, nomeadamente gráfica. Se os jogos educativos digitais apresentados aos estudantes forem de qualidade muito inferior, isto pode levar a que os estudantes os desvalorizem. Por outro lado, se o jogo for para jogar facultativamente, de forma autónoma e fora da sala de aula, isto pode desmotivar os estudantes, que tendem a não jogar um jogo que, apesar de ser educativo, terá menos atratividade que os jogos digitais lúdicos que têm qualidade profissional. Este é um aspeto que se pode atenuar ao construir jogos educativos de tabuleiro para serem jogados em sala de aula (com um carácter obrigatório) e em equipa (os alunos motivam-se uns aos outros e o docente motiva todas as equipas).

A avaliação dos dois jogos de tabuleiro desenvolvidos evidenciou a sua eficácia e o interesse e valorização por parte dos alunos. Ao terem dado origem a artigos publicados em revistas internacionais (com revisão por pares) e a um prémio, estas ferramentas também foram alvo de valorização, reconhecimento e divulgação a nível internacional e pela Ordem dos Engenheiros - Região Centro. Tal pode ser um grande impulso para que estas ferramentas ajudem a promover a formação ética dos estudantes de engenharia (nomeadamente de engenharia eletrotécnica) de forma mais eficaz. As atividades pedagógicas desenvolvidas e avaliadas que se apresentam neste capítulo respondem à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?) na vertente das unidades curriculares específicas de formação ética (dedicada especificamente à formação ética - Q2.1).

Capítulo 5

Interligar formação ética com conteúdos técnico-científicos

“The eco-design must aim at defining an architecture based on the energy ethics of rationalizing the distribution structure and power sources. It must combine energy saving and rational use of energy with the achievement of the primary objectives of energy quality, electrical safety and in particular of service continuity, indispensable in an increasingly connected world both in urban and rural locations.” [241].

Parise [241] defende que “In the digital age, the establishment of a technological ethics is required for the “structural system safety/security” and, in particular, for the electrical energy use and for an eco-design of power systems.”. Para este autor, a dimensão ética da tecnologia é definida como “a “normative” and “social” set of rights-duties of technical coordination, because in order to safeguard the technological rights of users, it has to set limits between users and the market, between the different technologies such as between electrical structures and electronic innovations.” [241]. Ao contrário da maioria dos outros estudos, que focam a dimensão ética da engenharia em geral, [241] foca-se diretamente na dimensão ética da eletrotécnica e da tecnologia que cria, nomeadamente dos sistemas de energia e nas instalações elétricas.

No que diz respeito à eletrotécnica, [241] definiu a existência de “Essential electrical rights” que a tecnologia deve garantir, como é exemplo “system and equipment ownership, sustainable innovations, use of equipment life cycle, good operability, micro approach design, defence of electrical structuration, energy communities, society of things, socialized process, reparability and unification, auto protection of special exigencies of appliances”. Neste âmbito, considera que o “Eco-design” permite alcançar “safety, power quality, load optimization, energy

management, emergency systems, through the integration of all environmental aspects in the design of the system and its components with the aim of improving environmental performance as a whole life cycle”, pelo que defende que o “eco-design” deve ser aplicado aos sistemas de distribuição de energia elétrica [241]. Para isso, os profissionais da engenharia eletrotécnica têm que ter “sensitivity for the environment and the social implications” da tecnologia que criam (incluindo os sistemas de distribuição de energia elétrica), tendo em conta que uma nova tecnologia nem sempre é melhor que a anteriormente usada [241]. Para compreender todas estas questões éticas é, pois, necessário promover a formação dos estudantes de engenharia eletrotécnica, para que sejam capazes de compreender e analisar as questões e desafios do ponto de vista ético.

Para que a formação ética dos diplomados em engenharia seja sólida e tenha maior probabilidade de ter efeitos positivos na prática profissional é imprescindível promover uma formação ética intencional e estruturada ao longo de toda a formação académica em engenharia. Esta formação deve abranger todo o plano curricular, ambiente académico e institucional. Ao nível do plano curricular dos cursos de engenharia, deve incluir pelo menos uma unidade curricular específica (tal como referido no capítulo 3) para permitir fazer uma formação básica e consistente sobre:

- a missão da engenharia e como se relaciona com a ética,
- as correntes éticas e os valores,
- os conceitos básicos sobre ética (ex. conceito de deontologia),
- os códigos deontológicos e éticos profissionais para a engenharia,
- a necessidade e o papel da ética no exercício profissional da engenharia, e a sua relação com os grandes desafios da contemporaneidade,
- bem como permitir compreender e implementar análises éticas de exemplos práticos da engenharia (eletrotécnica).

Usar casos práticos da área específica do curso em que se leciona potencia que a interligação entre a ética e a engenharia seja mais significativa e interiorizada, ou seja, que os estudantes a integrem na sua visão pessoal e profissional.

É também importante que nas unidades curriculares de conteúdos técnico-científicos se faça a interligação com a ética, de modo a reforçar a relação da ética com a engenharia e a necessidade de análise ética no domínio do exercício de engenharia, e se promova a responsabilidade ética profissional. Tal como mostra a figura 5.1, a unidade curricular específica de formação ética deve usar exemplos práticos e concretos oriundos do exercício profissional, da investigação, do desenvolvimento tecnológico ou da sociedade para mostrar a aplicação da ética à engenharia. Por outro lado, a aprendizagem proporcionada na unidade curricular específica permite aplicar os princípios da análise e reflexão ética em situações reais e em conteúdos das unidades curriculares técnico-científicas. Tal vai potenciar uma atuação eticamente mais responsável ao nível do desenvolvimento tecnológico.

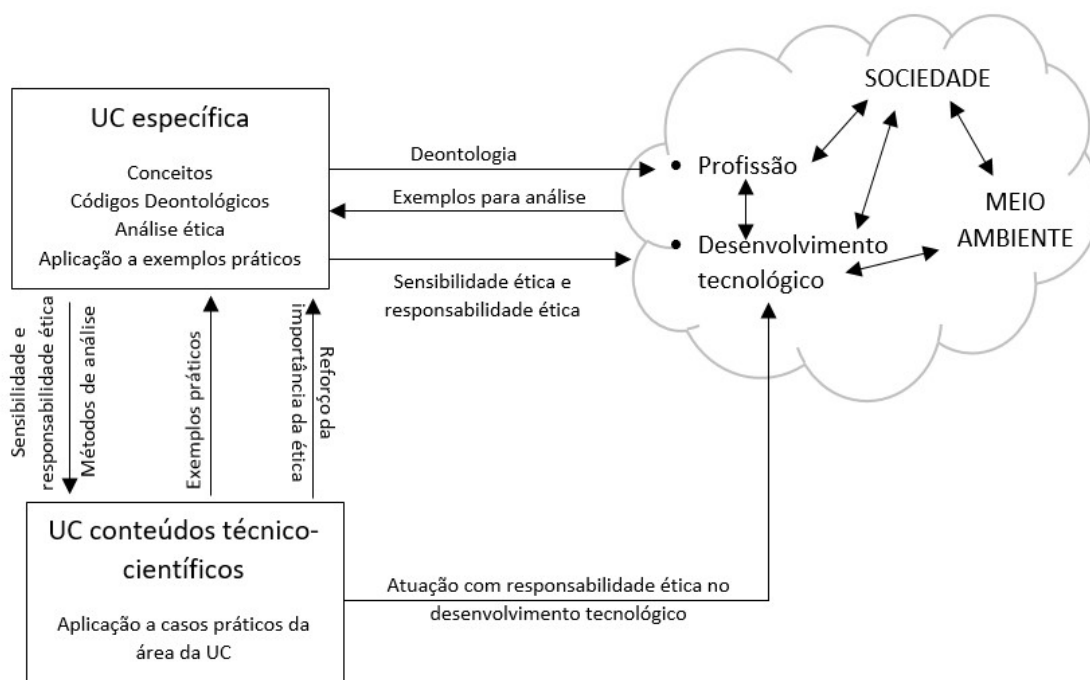


Figura 5.1 - Representação esquemática simplificada da interligação e contributos da formação ética na unidade curricular específica e em unidades curriculares técnico-científicas, e das suas inter-relações com a profissão, a sociedade e o meio ambiente.

O desenvolvimento tecnológico influencia fortemente a sociedade e o meio ambiente, e é também influenciada por estes. A promoção de uma prática profissional eticamente mais responsável resultará do conjunto da formação ética (na unidade curricular específica e nas unidades curriculares de conteúdos técnico-científicos). Em ambos os casos pretende-se colaborar para a promoção de uma engenharia mais eticamente responsável e consciente da sua influência na sociedade e no meio ambiente, a curto, médio e longo prazo.

Interligar as áreas técnico-científicas e ética é de mútuo benefício: potencia a que os alunos valorizem mais a ética porque vêm a sua aplicação prática associada com os conteúdos técnico-científicos; e estes conteúdos beneficiam da explicitação ética e da consciência dos valores associados a cada escolha possível. Também permite a ampliação da análise de um problema e das suas potenciais soluções numa perspetiva mais alargada (macro), o que permite desenvolver melhores soluções técnicas, mais responsáveis e mais coerentes com o compromisso por princípios éticos, destacando-se a sustentabilidade.

Interligar duas ou mais áreas disciplinares, é uma metodologia pedagógica que se enquadra na aprendizagem interdisciplinar (Interdisciplinary learning) [242] [243] e é reconhecida como um contributo para ajudar a resolver os problemas contemporâneos, que são complexos e que necessitam do conhecimento de várias áreas disciplinares para a sua compreensão e resolução [244]. Esta metodologia promove o pensamento interdisciplinar, que é definido “as the capacity to integrate knowledge of two or more disciplines to produce a cognitive advancement in ways that would have been impossible or unlikely through single disciplinary means” [245]. [243] alerta para o facto de que uma abordagem multidisciplinar ser diferente de uma

interdisciplinar, porque na primeira há uma adição dos contributos das várias áreas, e na segunda há integração que provoca mudança, um avanço, uma melhoria em cada área [242].

Alcançar a sustentabilidade é um dos maiores problemas que atualmente se colocam à Humanidade e que compreende aspectos éticos, técnicos, económicos, sociais e políticos. Para além de haver uma dimensão técnico-científica na procura pela sustentabilidade, Parise e Lombardi [246] defendem que “Sustainability is an ethical principle founded on generational equity, global justice, and protection of the environment.” (p.75). Devido à dimensão Técnico-científica, espera-se que a engenharia possa contribuir de forma muito central para que se alcance o objetivo da sustentabilidade [247]. Contudo, Pahwa et al., [248] avisam que os estudantes de engenharia têm poucos conhecimentos sobre a complexidade deste problema e desafio, o que justifica a necessidade de se desenvolverem novas ferramentas e estratégias pedagógicas para promover a formação ética e sobre ética para a sustentabilidade em interligação com os conteúdos técnico-científicos dos cursos de engenharia. Neste sentido, Felgueiras et al., [249] argumenta que para promoção da educação para a sustentabilidade é necessário mudar as formações dos engenheiros de uma formação “with a high level of specialization and a reduced scope” e mudar para uma formação com uma perspetiva interdisciplinar e/ou multidisciplinar que permita lidar com a complexidade real do problema.

A Aprendizagem baseada na interdisciplinaridade permite interligar duas ou mais áreas disciplinares diferentes [242] [243] de modo a que no seu conjunto ajudem a resolver problemas contemporâneos complexos e que são interdisciplinares [244], como é o caso da insustentabilidade.

A organização e especialização disciplinar, para Brewer [250], “blind spots that focus attention on highly selected aspects of a problem while blocking it out for others”. Estas visões disciplinares sobre os problemas ambientais resultam geralmente numa perspetiva “poorly organised or incomplete” pois só a interdisciplinaridade “permit problems to be seen in a larger context” [250]. Como tal, vários autores argumentam que as análises parciais e disciplinares não permitem que o problema seja visto numa perspetiva de larga escala nem de a longo termo, o que é imprescindível para a análise do problema ambiental, pois “much essential knowledge is not capable of guiding the development of policy, heightening public awareness, or even informing and enlightening political debate” [251].

O recurso à interdisciplinaridade permite criar novas interligações entre diferentes áreas disciplinares, o que permite detetar falhas e lacunas na análise de cada área disciplinar. Também permite identificar novos pontos de vista e novas perspetivas que potenciam encontrar novas e melhores propostas de soluções [252] [251]. Este aspeto é ainda mais relevante tendo em conta que o desafio da sustentabilidade envolve uma elevada complexidade e abrange um grande período temporal, pelo que é imprescindível ter uma abrangente do problema com vista a encontrar melhores propostas de soluções. Por isso, é importante incluir a interdisciplinaridade no ensino da engenharia. Esta deve incluir a área da ética, uma vez que

promover a sustentabilidade é um dever ético e porque a ética permite tomar consciência dos diferentes valores éticos que estão subjacentes às diferentes soluções técnicas e tecnológicas que a engenharia cria. Ao incluir a ética também se está a reforçar a importância da responsabilidade no desenvolvimento tecnológico e na necessidade que essas tecnologias tenham em conta uma perspetiva abrangente e realista dos problemas que tentam resolver e que causam.

O uso da interdisciplinaridade permite que se vá para além da soma dos conhecimentos das diferentes áreas envolvidas, mas permite que cada nova área contribua com a sua visão e perspetiva, identificando novos aspetos na análise que sem esse contributo não seriam identificados. Tal também permite definir objetivos e soluções mais ricas, potencialmente mais eficazes e abrangentes, que sejam mais responsáveis e criativas do que uma só das áreas poderia alcançar [253]. Cada área beneficia do contributo das visões que as outras têm sobre o problema, e com isso também se melhora os conhecimentos de cada uma das áreas.

Em Portugal, a engenharia eletrotécnica é uma das áreas da engenharia com menor presença de formação ética e para a sustentabilidade no seu plano curricular [123]. Este problema também ocorre noutros países [248], o que justifica estudos e propostas de integração da formação ética e da sustentabilidade nos cursos de engenharia eletrotécnica.

A principal razão porque os estudantes (e até os professores) de engenharia desvalorizam a ética da engenharia é porque consideram que a tecnologia e a engenharia se baseiam em cálculos matemáticos e por isso são eticamente neutros [113] [254], ou seja, não são influenciados por valores ou perspetivas éticas. Aumentar a valorização que os estudantes atribuem à ética na engenharia pode ajudar a contribuir para uma prática profissional mais responsável, mais consciente e mais empenhada, nomeadamente na promoção da sustentabilidade. Integrar nos cursos de engenharia formação ética e para a sustentabilidade vai ajudar os estudantes a olharem para as consequências da criação e uso da tecnologia que a engenharia desenvolve a partir de várias perspetivas (ambiental, económica e social). A interligação entre estas 3 áreas (ética, sustentabilidade e engenharia) também permite reconhecer a grande complexidade dos problemas em vez de ficar apenas por uma visão restrita e limitada da perspetiva técnica da engenharia. Contudo, implementar a interligação destas áreas pode ser um grande desafio, uma vez que os planos curriculares e as divisões disciplinares tendem a ser rígidas e antigas. O corpo docente também pode ser fonte de oposição a esta mudança, quer porque já se sentem sobrecarregados de trabalho, quer porque há sempre alguma oposição à mudança, ou porque não valorizam a dimensão ética da engenharia.

Atualmente a sociedade espera que a engenharia resolva o problema da insustentabilidade, esperando que o desenvolvimento e as novas tecnologias permitam encontrar a sustentabilidade. Por isso, a engenharia tem e terá um papel fulcral na construção do presente e futuro [33] que tem que incluir responsabilidade ética e consciência da complexidade e abrangência do problema da insustentabilidade. Esta responsabilidade constrange à inclusão

destas dimensões na formação dos profissionais da engenharia, incluindo da engenharia eletrotécnica, para que os seus profissionais integrem a ética e a sustentabilidade na análise dos problemas e no desenvolvimento de propostas de soluções tecnológicas. Isso implica alargar a análise dos problemas da sua dimensão técnica e incluir uma perspetiva ética, económica, social e ambiental a curto, médio e longo prazo. Para isso é necessário incluir formação sobre ética e sustentabilidade nos planos curriculares, quer em unidades curriculares específicas, quer integrando estas áreas nas unidades curriculares de conteúdos técnico-científicos específicos de cada área da engenharia.

5.1 - Objetivos específicos e metodologia

Neste presente capítulo apresenta-se o desenvolvimento de três atividades pedagógicas com vista a responder à subquestão Q2 (Que instrumentos pedagógicos concretos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?) na vertente de interligação da formação ética com conteúdos técnico-científicos (Q2.2), e a análise dos resultados da sua aplicação.

Perante a importância de se incorporar formação ética nos cursos de engenharia, nomeadamente nas unidades curriculares técnico-científicas dos cursos de engenharia, definiu-se também como objetivo específico a construção de um framework que facilite o desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação da formação ética (e para a sustentabilidade) com conteúdos técnico-científicos. Para avaliar a sua aplicabilidade e facilitar a sua aplicação prática, apresentam-se 3 diferentes casos de aplicação (nos pontos 5.3, 5.6 e 5.9).

A estratégia metodológica está resumida e esquematizada na figura 5.2. Esta metodologia segue os princípios de uma investigação ação [231] que é adequada para investigações que se enquadram numa intervenção que pretende melhorar a prática docente [232]. O processo baseia-se num processo iterativo em espiral, intercalando reflexão crítica, ação e mudança/ajustes [233] [232]. Esta metodologia é adequada quando se pretende resolver problemas específicos, complexos e contextualizados em que se usa um processo cíclico de modo que a avaliação dos resultados vai ajudar gradualmente a mudar e melhorar a própria prática [232].

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica para estudar exemplos de interligação entre a formação ética e conteúdos técnico-científicos da área da engenharia eletrotécnica. A pesquisa foi feita usando a plataforma B-on. Os critérios de inclusão usados foram: incluir os termos “electrical engineering” + “ethics” nas palavras chave ou no título; ser publicado nos últimos 5 anos em revistas científicas com revisão por pares; terem o texto completo disponível; incluir no resumo uma referência ao domínio da ética e também abranger conteúdos técnico-científicos da área da engenharia eletrotécnica. Contudo, esta pesquisa não teve

resultados que se enquadrassem nos critérios de inclusão, o que justifica a importância do presente trabalho.

Numa segunda fase foi feita uma pesquisa (não sistemática) sobre os princípios teóricos para o planeamento e construção de ferramentas pedagógicas. Tal pesquisa permitiu identificar estudos importantes que estão na base da construção do framework proposto.

O desenvolvimento do framework foi um processo iterativo (investigação ação) em que houveram vários ajustes ao longo do processo em face dos resultados e das dificuldades encontradas. Nesta linha, tratou-se de um processo de desenvolvimento em espiral, crescendo nos detalhes e profundidade ao longo do estudo. Para consolidação e verificação do framework proposto, este foi testado e aplicado a 3 exemplos concretos (do domínio da engenharia eletrotécnica), que são apresentados neste capítulo. As atividades pedagógicas desenvolvidas e implementadas foram avaliadas recorrendo a inquéritos pré e pós atividade. Este método de avaliação é reconhecido como adequado para avaliar atividades pedagógicas inovadoras [199].

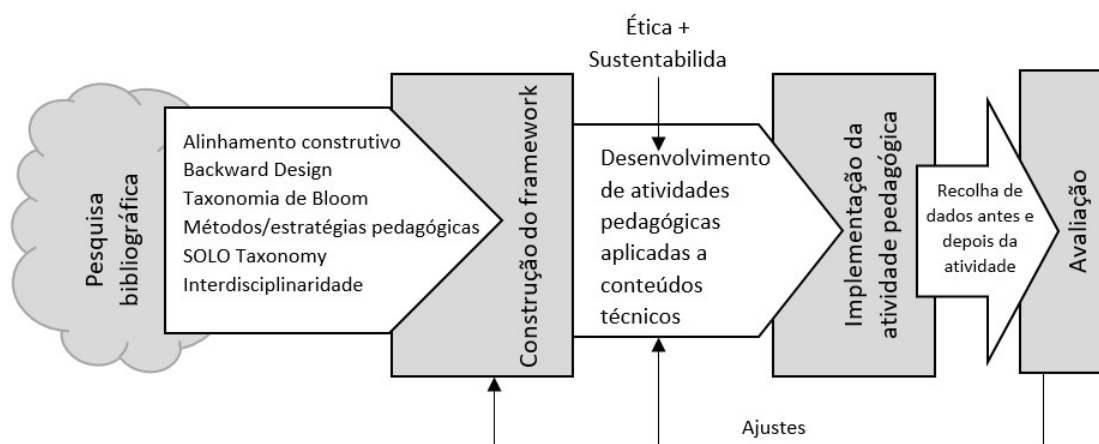


Figura 5.2 - Resumo e esquema da metodologia usada no estudo apresentado no capítulo 5, baseada nos princípios de uma investigação-ação

A pesquisa efetuada permitiu identificar princípios teóricos para o planeamento e construção de ferramentas pedagógicas que foram aplicadas à construção da framework, destacando-se: Alinhamento construtivo (design for teaching) de John Biggs [255] que define os passos para o planeamento e construção de atividades de ensino/aprendizagem. A sequência defendida por Biggs é: definir as competências pretendidas -> definir os objetivos de aprendizagem -> definir as atividades de ensino/aprendizagem -> definir a avaliação das aprendizagens. Nesta perspetiva, "começa-se com os resultados que se pretende que os alunos alcancem e alinha-se o ensino e a avaliação em direção a esses resultados" (Rizzo & Poletti, 2019); Backward Design [256] que define os passos para o planeamento e construção de atividades de ensino/aprendizagem. A sequência defendida por Bowen e Rayan é: identificar os resultados pretendidos (objetivos, competências e questões essenciais) -> definir forma de avaliar se foram atingidos (definir a avaliação) -> planejar as atividades de aprendizagem [257];

Taxonomia de Bloom, que define os níveis de aprendizagem e os verbos para a definição das competências pretendidas [155] [148]; Taxonomia SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome), que ajuda a definir as aprendizagens que se pretendem promover [258]; Diferentes tipos de métodos e estratégias pedagógicas: métodos ativos (em que é atribuída mais autonomia ao estudante, que é o centro de todo o processo focado na aprendizagem, e em que o professor toma o papel de facilitador [259]) e métodos passivos (centrados no professor e no ensino, possibilitando autonomia limitada ao estudante, que é visto como recetor do conhecimento [260]); e Interdisciplinaridade [252] [251].

5.2 - Framework para desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação da ética com conteúdos técnico-científicos

O framework desenvolvido e descrito neste ponto foi submetido para publicação no European Journal of Engineering Education e o artigo escrito encontra-se em processo de ajuste após primeira revisão por pares. O framework desenvolvido tem por principal objetivo servir de orientação e apoio na construção de atividades pedagógicas que interliguem a ética e a sustentabilidade com conteúdos técnico-científicos de modo interdisciplinar. Esta interligação entre as três áreas poderá contribuir para se promoverem melhores soluções de engenharia (nomeadamente mais conscientes e responsáveis ao nível ético e ambiental).

Este framework permite que o processo se inicie de duas opções diferentes: a partir da intencionalidade de evidenciar um ou vários aspetos em que um dado tema técnico-científico se relaciona com a ética e/ou sustentabilidade (por exemplo: a inteligência artificial está em grande desenvolvimento e já tem um vasto leque de aplicações reais: quais são os problemas éticos que o seu uso pode envolver?); ou a partir da constatação de uma necessidade de formação específica da área da ética (por exemplo: evidenciar que o não cumprimento dos deveres deontológicos pode ter consequências graves). Repare-se que no primeiro caso o foco inicial é o tema ou conteúdo técnico-científico, e no segundo caso o foco inicial está numa competência ou objetivo do domínio da formação ética. Em qualquer um dos casos, é necessário definir se a interligação irá ocorrer numa unidade curricular técnico-científica ou numa unidade curricular específica de formação ética. O mais desejável é que exista esta interligação nos dois tipos de unidades curriculares, mas deve haver um planeamento central do curso de forma a evitar repetições dos mesmos exemplos em diferentes unidades curriculares.

Para este estudo, estas duas opções alternativas foram designadas por:

- Opção A - partir dos conteúdos técnico-científicos para evidenciar a sua dimensão ética;

- Opção B - partir da necessidade de promover uma competência ética específica.

Estas duas opções podem implicar percursos de construção pedagógica diferentes e diferentes níveis de profundidade. Em qualquer destes casos, é importante destacar que com este framework se pretende implementar de forma intencional, metódica, planeada e eficiente a interligação entre a ética e a engenharia eletrotécnica nas aulas das diversas unidades curriculares técnico-científicas.

O framework desenvolvido para a construção de ferramentas pedagógicas para promover a interligação entre ética e engenharia eletrotécnica está apresentado de forma resumida na figura 5.3. No presente capítulo serão apresentados casos de aplicação para as principais configurações do framework, tal como se resume na figura 5.4. Os casos de aplicação apresentados servem para exemplificar as combinações possíveis.

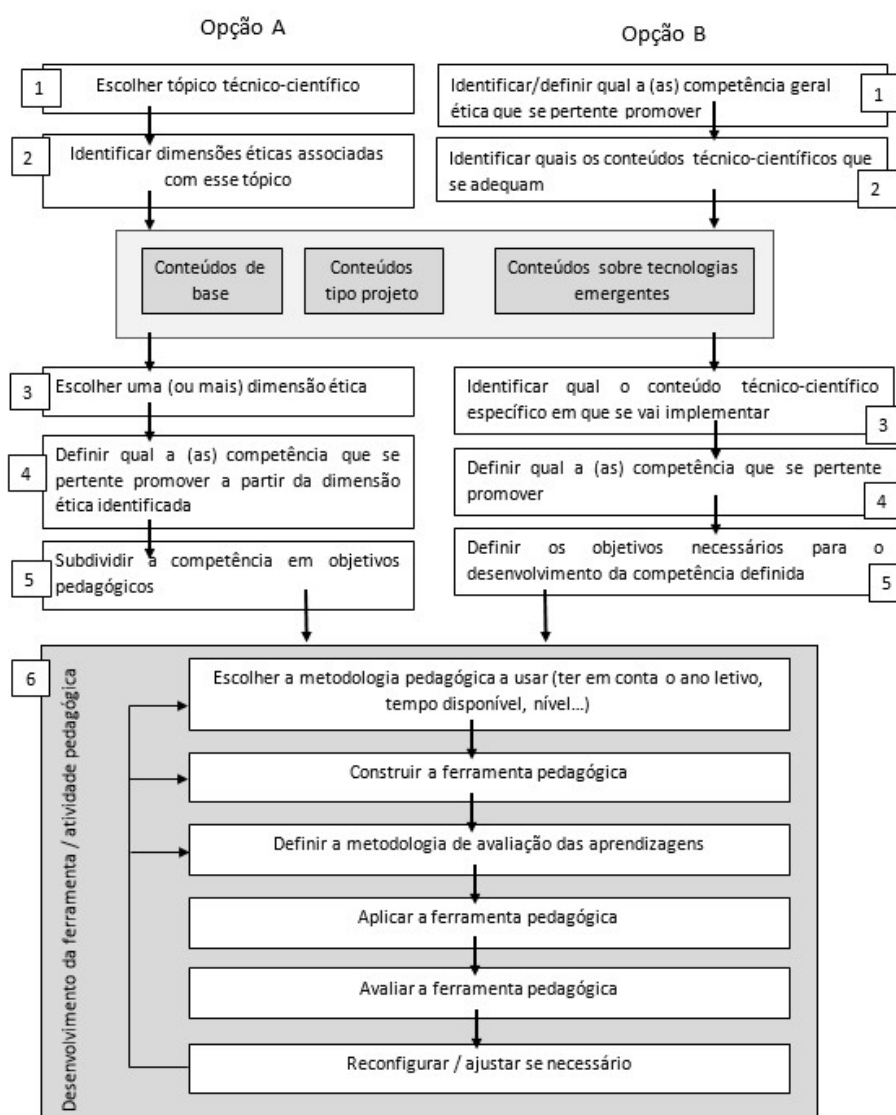


Figura 5.3 - Síntese dos passos para a construção de ferramentas pedagógicas para promover a interligação entre ética e engenharia eletrotécnica considerando 2 diferentes pontos de partida: A - partir dos conteúdos técnico-científicos para evidenciar a sua dimensão ética; e B - partir da necessidade de promover uma competência ética específica.

Para que o processo seja bem-sucedido, é necessário ter em conta o nível de conhecimento necessário ou que está associado aos conteúdos técnico-científicos e aos do domínio da ética; o enquadramento dos conteúdos técnico-científicos no plano curricular; a disponibilidade dos professores e qual o tempo para implementação da atividade pedagógica; e os conhecimentos dos professores sobre as diversas áreas do saber a incluir na atividade.

A figura 5.3 resume o framework, mas são necessários mais detalhes para que constituir uma atividade pedagógica eficiente, pelo que de seguida se descreve cada passo de forma mais detalhada (segundo a Opção A).

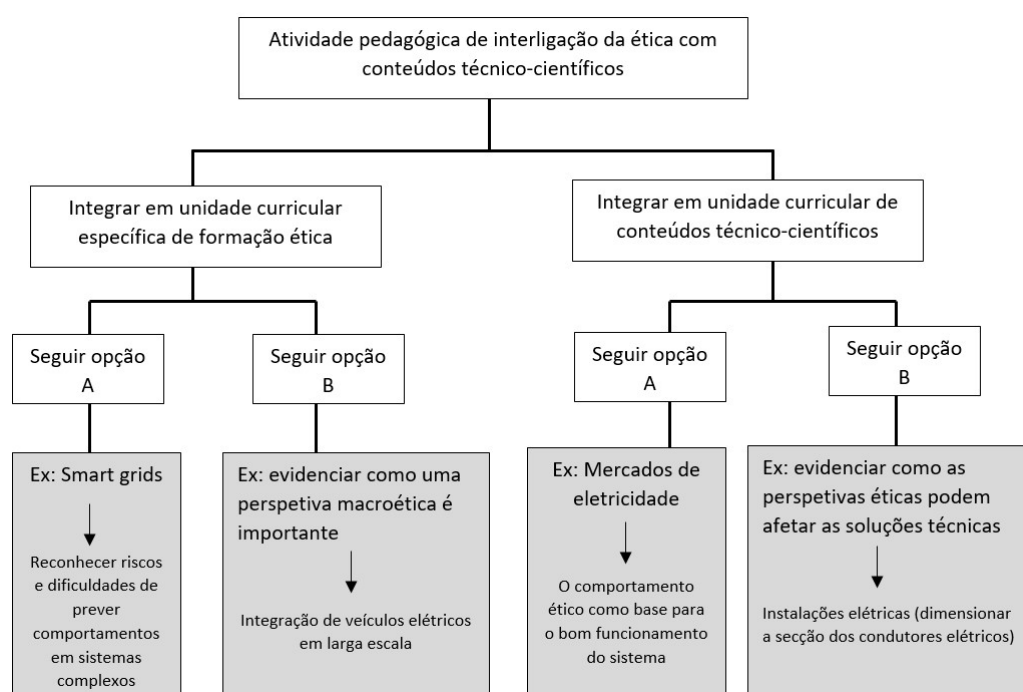


Figura 5.4 - Síntese das diferentes combinações consideradas no estudo e de exemplos de aplicação correspondentes a cada caso.

1º passo - escolher tópico técnico-científico:

O processo inicia-se pela identificação ou delimitação de um tópico técnico-científico da área em questão (neste caso, da engenharia eletrotécnica). A área da engenharia eletrotécnica é muito vasta e pode ser dividida em grandes subáreas. Santos e Gomes [261] sugerem a divisão em: sistemas de controlo, processamento de sinal, sistemas digitais e arquitetura de computadores, tecnologias de comunicações, redes e serviços de comunicações, automação e robótica, sistemas embarcados, conversão de energia, instalações elétricas, redes e sistemas de energia, mercados de eletricidade e regulação, processamento de informação e aprendizagem computacional, tecnologias de aplicações biomédicas, tecnologias de sistemas multimédia, eficiência energética, mobilidade elétrica, energias renováveis. Apesar desta subdivisão (há outras subdivisões possíveis), cada uma destas subáreas da eletrotecnia é ainda muito vasta e possibilita muitas possíveis interligações com a ética. Por isso, é necessário

delimitar dentro de cada subárea qual o aspeto/tema em concreto que será interligado com a ética. Note-se que numa mesma unidade curricular se podem e devem fazer várias interligações com a ética usando diferentes conteúdos técnico-científicos e diferentes objetivos a alcançar. Mas, em cada caso, será necessário construir ferramentas/atividades pedagógicas adequadas. Também se podem interligar vários conteúdos técnico-científicos para uma mesma atividade pedagógica, se estes forem adequados aos objetivos a alcançar (por serem complementares, por exemplo). Contudo, será mais fácil começar por um tópico e posteriormente adicionar mais, se tal se vier a constatar como benéfico.

Tendo em conta que o processo de construção de ferramenta/atividade pedagógica é usualmente uma iniciativa de um/a docente, para facilitar a escolha do tópico a considerar, o que pode fazer é procurar identificar pelo menos uma interligação com a ética para cada um dos tópicos do programa curricular da unidade curricular de que se é docente. Dever-se-á escolher um desses tópicos (seja porque é aquele o tópico em que a ligação à ética é mais relevante, ou porque é a relação mais óbvia, ou porque é a mais difícil dos estudantes identificarem sem ajuda, ou por outra razão), para passar ao passo seguinte.

2º passo - identificar dimensões éticas associadas com esse tópico:

Neste passo, a interligação com a ética deverá ser aprofundada na identificação da interligação do conteúdo técnico-científico escolhido com a ética. Para isso, é muito útil tentar fazer um mapa mental [262] sobre as possíveis interligações com a ética. Nem todas as interligações são óbvias, e algumas necessitam de conhecimentos adicionais, pelo que podem implicar estudo, pesquisa e/ou investigação suplementar.

Para facilitar a identificação das dimensões éticas de um tópico técnico-científicos pode ser usado um conjunto de questões/pistas que facilitam o processo. No presente estudo propõem-se pistas em função do tipo de conteúdo técnico-científico: trata-se de uma nova tecnologia ou uma tecnologia recente? Trata-se de projeto com cálculos regulamentados? Trata-se de um conceito de base? Trata-se de uma prática laboratorial? Trata-se da escrita de relatório técnico/comunicação de informação técnico-científica?

Para facilitar o processo, os tipos de conteúdos técnico-científicos foram divididos em 3 grandes grupos:

- Conteúdos de base - não constituem por si só produtos ou soluções tecnológicas de forma direta e/ou isoladamente; mas fazem parte das competências de base que podem ser aplicadas em muitas e diversas aplicações profissionais (ex. métodos de análise de circuitos elétricos, medição e instrumentos de medida; programação, práticas laboratoriais, escrita de relatórios);
- Conteúdos do tipo projeto - permitem desenvolver projetos diversos (ex. instalações elétricas, infraestruturas de telecomunicações de edifício, domótica, automação industrial, projetar máquinas elétricas, projetar sistemas de produção ou transporte

ou distribuição de energia elétrica, projetar sistemas de comunicações, auditorias energéticas), implicando cálculos e dimensionamentos, escolhas e decisões perante várias alternativas possíveis em ramos já consolidados e regulamentados;

- Conteúdos sobre tecnologias emergentes - conteúdos de áreas promissoras que estão em expansão e desenvolvimento [263], que geralmente são pouco reguladas ou mesmo ainda sem regulamentação; áreas em que ainda há pouca experiência sobre a sua implementação prática (ou as suas consequências a longo prazo) e há muita investigação recente a ser publicada (ex. redes inteligentes, veículos elétricos, robótica, internet das coisas, inteligência artificial, condução autónoma, transferência de energia elétrica sem fios).

Cada um destes tipos de tópicos terá dimensões éticas diversas. Para ajudar a identificar diversas pontes de contacto com a dimensão ética é útil fazer-se um mapa mental [262] para ajudar a visualizar a diversidade das possibilidades para promover essa interligação.

No caso dos conteúdos de base (usualmente no início do curso), o principal foco ético devem ser os deveres deontológicos e os valores éticos necessários para o exercício profissional responsável: honestidade, humildade (pessoal e científica), integridade, virtude (ter um bom caráter), confiabilidade, empenho, competência, respeito, responsabilidade, justiça, solidariedade, lealdade. Como tal, o foco será a micro ética [264], uma vez que se centra na ação individual. A figura 5.5 mostra alguns dos valores éticos em causa e as suas inter-relações, bem como importantes aspetos que podem ajudar a orientar a interligação da formação ética deontológica com conteúdos de base. A figura 5.5 poderá ser o ponto de partida para descobrir pontos de interligação e definir as competências e objetivos pretendidos, isto é, que se desejam alcançar com as ferramentas pedagógicas a desenvolver.

Como a formação ética é mais bem-sucedida se envolver a razão e as emoções dos estudantes [146] e se focar aspetos concretos que estes conheçam e até estejam familiarizados [107], pode-se procurar interligar a ética com a situação concreta do papel de estudante, enquanto aprendiz de uma profissão, que se está a preparar (no presente) para o exercício profissional da engenharia (perspetiva futura da sua própria prática profissional). Neste sentido, podem-se criar situações que alertem para a falta de valores deontológicos no presente (ex. usar fraude académica para obter aprovação) que possam vir a ter consequências no futuro (ex. falta de competências reais - não saber fazer).

Usualmente as unidades curriculares de conteúdos de base localizam-se no 1º ano (e eventualmente no 2º ano), pelo que a interligação com a ética deontológica pode ajudar a desenvolver nos estudantes um posicionamento responsável, empenhado e profissional desde o início do curso. O foco nos valores éticos permitirá promover um posicionamento desejável para com a futura prática profissional, que seja já treinado durante a sua formação académica, nomeadamente o empenho e a responsabilidade dos estudantes no seu próprio processo de aprendizagem. Este aspeto é ainda mais importante se tivermos em conta que os estudantes

do ensino superior tendem a perder valores (como a responsabilidade) durante o seu percurso académico [265]; e que os estudantes de engenharia são os mais propícios a cometer fraude académica [109] [266]. Se nada for feito para tentar alterar este padrão de comportamento, é expectável que os maus hábitos e o afastamento dos valores necessários ao profissionalismo responsável (resumidos na fig. 5.5) se traduza em comportamentos pouco éticos após a entrada dos recém-diplomados no mercado de trabalho [109] [267].

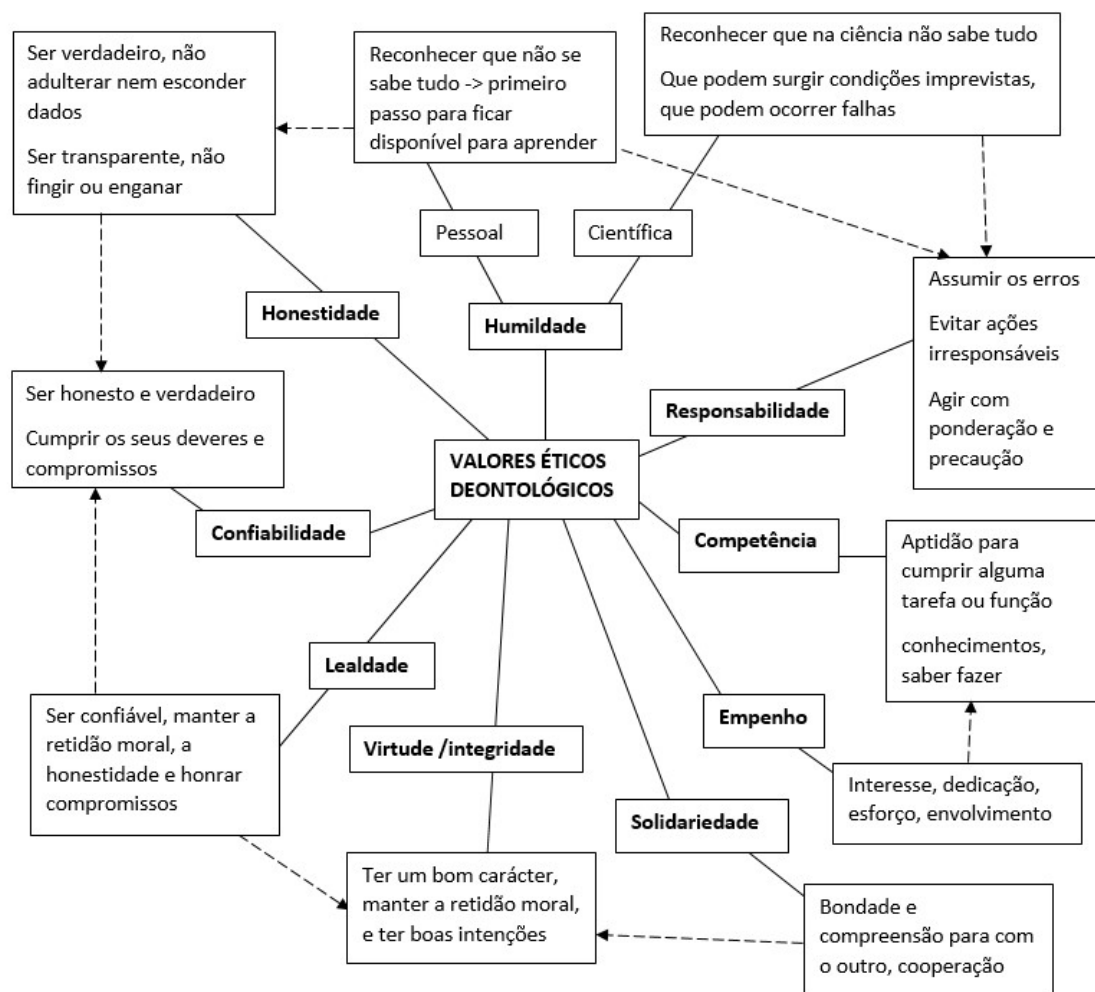


Figura 5.5 - Inter-relações entre os diversos valores éticos necessários a um profissionalismo responsável.

Nesta linha, as unidades curriculares com conteúdos de base devem promover a formação ética sobre valores, ajudando a identificá-los, a compreendê-los e a interrelacioná-los uns com os outros e com a sua prática real e pessoal no seu contexto (como estudante, com tarefas e obrigações a cumprir), e ligando-os com a futura prática profissional. Este esforço de formação ética dos estudantes terá mais efeito se for promovido também o gosto pela profissão desde a sua entrada no curso, de modo a que estes se sintam empenhados em vir a ser “engenheiros/as competentes”. Note-se que ter gosto pela engenharia não deve ser confundido com nenhuma

forma de “clubismo”, corporativismo ou fanatismo e não pode ser associado a práticas pouco éticas, como é o caso da “praxe académica”. Trata-se de uma promoção da profissão que deve ser institucional, organizada, intencional, responsável e realista. No livro “A Whole New Engineer: The Coming Revolution in Engineering Education” David Edward Goldberg, Mark Somerville [112] apresentam sugestões para promover o gosto pela engenharia desde a receção aos novos estudantes.

Para promover a interligação entre a ética e os conhecimentos de base, pode-se escolher um (ou mais) valor ético necessário à boa prática profissional e analisar o que pode ocorrer se esse valor não estiver presente (ex. identificar os problemas que podem advir da falta de honestidade (ou outro valor) no meio académico e na futura prática profissional); ou sobre o que é que cada um dos valores implica na prática (ex. ser responsável implica, entre outros aspetos, ser empenhado e honesto durante a aprendizagem, de modo a que, ao concluir o curso, de facto os diplomados tenham as competências necessárias à prática profissional).

Relativamente aos conteúdos do tipo projeto, este grupo de conteúdos técnico-científicos preparam os estudantes para definirem propostas de soluções técnicas/tecnológicas para aplicação em situações concretas. Usualmente há várias hipóteses alternativas possíveis e há uma justificação técnica (por exemplo, cálculos e/ou regulamentação) para a escolha definida no projeto final. Se há regulamentação sobre o conteúdo, então há uma dimensão deontológica importante (dever de cumprir o que a regulamentação define) [268]. A regulamentação frequentemente define os limites mínimos para garantia da segurança do ponto de vista técnico, mas deixa margem de manobra para se poder fazer uma proposta ainda mais segura e melhor que o definido nos regulamentos. Acresce que os regulamentos deixam vários aspetos omissos, ficando ao critério do projetista usar de “bom senso” nas suas decisões técnicas [269].

Este tipo de conteúdo implica cálculos e dimensionamentos, escolhas e decisões perante várias alternativas possíveis. Na engenharia as escolhas devem ser feitas de forma fundamentada com base em critérios e factos (sempre que possível). Usar critérios significa valorizar determinados valores éticos (os que foram considerados nos critérios) em detrimento de outros (os que não foram considerados, ou foram preteridos), logo trata-se de uma dimensão da ética. Ao incluir e excluir critérios, também é importante ter em conta as possíveis consequências a vários níveis, nomeadamente espaciais e temporais.

Ao definir-se um projeto (esteja ou não consolidado num relatório escrito e estruturado), terá de haver uma comunicação com o cliente: nessa comunicação foi incluída uma referência a alternativas? Tornaram-se claros os riscos, as vantagens e desvantagens de cada caso? A ética associada com a comunicação com os clientes e a sociedade é também abordada no Código de Ética e Deontológico da Ordem dos Engenheiros [17] como sendo um aspeto importante, destacando o ponto 1.6:

“A responsabilidade dos engenheiros abrange não só a documentação técnica, como a informação aos clientes, aos utilizadores e às demais partes interessadas, incluindo, designadamente:

- a utilização apropriada das soluções propostas ou realizadas e os possíveis perigos do seu mau uso;
- as características técnicas dos produtos e processos em questão;
- o uso indevido e intencional desses produtos e processos;
- a sugestão de abordagens alternativas;
- a possibilidade de desenvolvimentos indesejados.”

Para facilitar a identificação das interligações com o domínio da ética, apresenta-se na figura 5.6 uma relação possível entre as características mais relevantes deste tipo de conteúdos e algumas questões éticas.

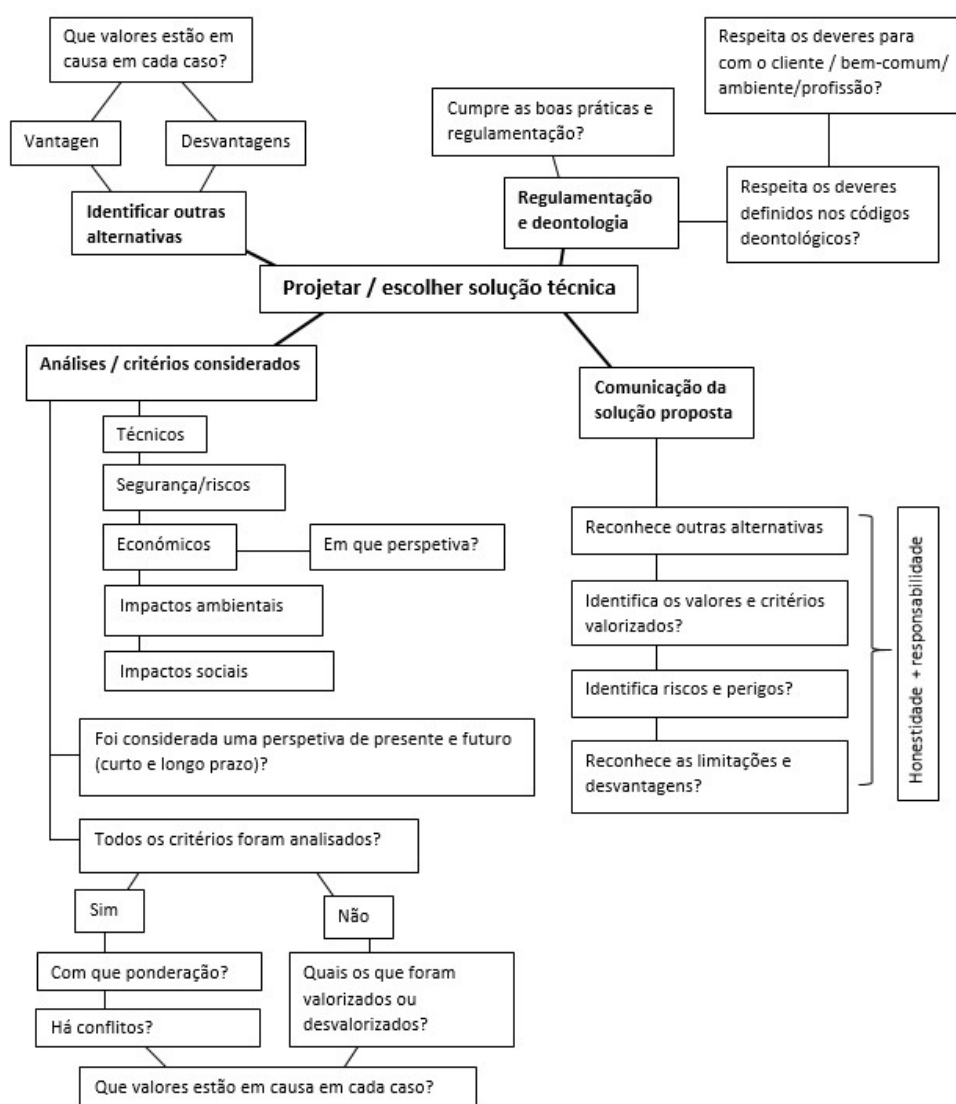


Figura 5.6 - Possíveis interligações dos conteúdos técnico-científicos do tipo projeto com o domínio da ética.

A figura 5.6 evidencia muitos pontos de interligação com a ética que podem ser usados como ponto de partida para promover a consciência da dimensão ética da prática profissional da engenharia ou para promover formação ética. A figura 5.6 também mostra algumas interligações com aspetos do domínio da sustentabilidade.

Quanto aos conteúdos sobre tecnologias emergentes: tratando-se de tecnologias que ainda estão em desenvolvimento [270], podem ser consideradas tecnologias que ainda não estão consolidadas e sobre as quais se desconhece as potenciais consequências, riscos e desafios. Usualmente ainda não existe regulamentação ou esta é muito vaga. Perante o estado precoce de desenvolvimento, o foco da interligação com a ética deve estar nos riscos e possíveis consequências não previstas e indesejáveis. As consequências possíveis devem incluir a análise a nível social (individual, coletivos, atitudes e comportamentos); ambiental e económico (em diversas perspetivas e para diversos afetados); e os riscos de segurança (bens, pessoas, animais, ambiente, dados e informação, saúde física e psíquica). Cada um destes aspetos deve ser analisado para o presente (curto prazo) e para o futuro (longo prazo); e deve ter em conta uma macro perspetiva (macro ética) [264].

Partindo dos trabalhos de vários autores, e para melhor identificar as dimensões éticas associadas com tecnologias emergentes, definiram-se um conjunto de questões que constituem uma orientação para identificar as dimensões éticas que lhes podem estar associadas:

- Quais as intenções, benefícios ou objetivos desta tecnologia? Esses objetivos pretendidos foram provados? Como? Existem estudos que sugerem o contrário?
- Que fatores externos ou internos podem alterar os resultados esperados? São prováveis?
- A nova tecnologia vai substituir alguma anterior? Se sim - o que fazer com o impacto do descarte da anterior? Que vantagens e desvantagens tem relativamente à opção anterior?
- Há outras opções alternativas possíveis (no mínimo há 2 opções: implementar e não implementar)? Quais as vantagens e desvantagens de cada uma?
- Quais os impactos desta nova tecnologia para o meio ambiente? (fase de construção, utilização e descarte: incluir análise de todo o ciclo de vida “do berço à cova”)
- Que impactos esta tecnologia terá a nível social? (ex. nos trabalhadores, numa empresa, na sociedade, no cidadão)
- Que consequências negativas ou não desejáveis, poderá ter esta tecnologia? (considerando o presente e o futuro e a nível social, ambiental, económico; numa macro perspetiva)
- Há registo de dados pessoais? Como é salvaguardada a segurança e privacidade?

- Há tomada de decisão automatizada? Há recurso à inteligência artificial? Que medidas foram tomadas para prevenir erros e omissões de hipóteses alternativas? Como é que isso pode ser benéfico ou prejudicial ao ser humano?

As respostas às questões anteriores permitiram detetar alguma causa de conflito? Existência de conflitos obriga a tomar uma decisão, logo a uma escolha que valoriza uns valores éticos em detrimento de outros.

3º passo - escolher uma dimensão ética:

Após a análise anterior é necessário escolher um (ou vários) pontos de contacto entre a ética e os conteúdos técnico-científicos para posteriormente aplicar uma atividade pedagógica. A escolha deve focar um aspeto relevante, que seja útil (no contexto presente do percurso académico do estudante, na sua prática profissional futura ou em geral para a sociedade). Também é necessário ter em conta as limitações existentes em termos de tempo disponível, dos conhecimentos técnicos ou sobre ética que são necessários: por exemplo, no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra a unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores é do 1º semestre do 2º ano, pelo que ao interligar formação ética com conteúdos do 1º ano (conteúdos de base) é necessário ter em conta que os alunos ainda não aprenderam os conceitos básicos de ética. Contudo, isso não inviabiliza a interligação, mas obriga a ter essa limitação em conta aquando da escolha da dimensão ética a analisar e na construção da ferramenta / atividade pedagógica.

Depois desta análise é necessário escolher um ou mais aspetos que interligam o conteúdo técnico-científico escolhido e a ética para os quais será desenvolvida a atividade pedagógica. Pode ser um aspeto que seja importante em si mesmo e útil (no âmbito do percurso académico dos estudantes, na sua futura prática profissional ou em geral para a sociedade).

4º passo - definir qual a competência que se pretende promover a partir da dimensão ética identificada:

Neste ponto é importante começar por identificar qual o objetivo central que o docente pretende para a atividade: “The aim of a module or programme is a broad general statement of teaching intention, i.e. it indicates what the teacher intends to cover in a block of learning. Aims are usually written from the teacher’s point of view to indicate the general content and direction of the module” [271]. Também é importante definir a sua utilidade da aprendizagem pretendida para a vida profissional futura dos diplomados e, a partir dessa utilidade, procurar identificar como é que isso pode cativar e ser motivo para o envolvimento e empenho dos estudantes durante o seu processo de aprendizagem.

Para definir as competências que se pretendem promover é útil começar por definir como a competência técnico-científica, ética ou sobre sustentabilidade vão estar fundidas. A escrita

de cada competência deve seguir a organização e os respectivos verbos da Taxonomia de Bloom [155] [148] ou da Taxonomia SOLO [258]. Cada competência deve iniciar com um verbo ativo e deve estar focada no ponto de vista do estudante [271]. Neste processo, é necessário definir o que se pretende que os estudantes sejam capazes de memorizar, compreender, aplicar, analisar, avaliar ou criar (seguindo a taxonomia de Bloom) no final da atividade pedagógica. Também é importante identificar quais os conhecimentos prévios ou periféricos (da área técnico-científica e da área da ética, ou de outras áreas que sejam incluídas no processo de aprendizagem) que os estudantes necessitam para que a aprendizagem seja bem-sucedida.

5º passo - Subdividir a competência em objetivos pedagógicos:

Para cada competência definida no ponto anterior é necessário decompô-la em objetivos pedagógicos que permitam alcançar passo por passo a competência final pretendida. Os objetivos pedagógicos devem definir as etapas do processo de aprendizagem, que tradicionalmente vão do simples para o complexo, definindo um processo evolutivo que permita alcançar o objetivo/competência final pré-definida. Estes objetivos pedagógicos vão ajudar a definir as etapas da atividade pedagógica.

6º passo - Desenvolvimento da ferramenta / atividade pedagógica:

Este passo inclui várias etapas que constituem um processo iterativo de construção e reajuste da atividade em desenvolvimento. Trata-se de um processo progressivo que poderá implicar várias mudanças e reajustes ao longo do processo e do tempo [260].

Deve-se iniciar-se por fazer o levantamento das limitações que se reconhecem: perfil dos estudantes, enquadramento da unidade curricular no curso, enquadramento da atividade pedagógica no plano da unidade curricular, disponibilidade e aptidão do docente para implementar a atividade, tempo e recursos disponíveis.

Na proposta resumida na figura 5.3, a sequência definida para o planeamento da atividade de aprendizagem é: definir a competência -> decompor em objetivos -> escolher a metodologia pedagógica a usar -> construir a ferramenta pedagógica -> definir a metodologia de avaliação de aprendizagens. Este processo segue o método de alinhamento construtivo definido por Biggs [255]. Este método salienta que a avaliação, as atividades pedagógicas e os objetivos e competências devem estar alinhadas, isto é, devem ser coerentes entre si. Bowen propôs um método alternativo designado de Backward Design [256] em que se define a metodologia de avaliação antes de se definir as atividades pedagógicas. Apesar dos dois métodos serem eficientes, no presente estudo optou-se pelo alinhamento construtivo [255].

Um dos objetivos de garantir o alinhamento construtivo é promover uma estratégia de aprendizagem profunda, o que auto-responsabiliza também os próprios estudantes, pois *“uma estratégia de aprendizagem superficial tende a associar-se a uma disposição superficial dos alunos, fazendo com que estes inclinam-se a um esforço só para evitar insucesso nas atividades*

de aprendizagem propostas; enquanto que a estratégia de aprendizagem profunda se conjuga preferencialmente com o envolvimento profundo do aluno com sua aprendizagem” [272, p. 52].

Para escolher o tipo de metodologia pedagógica a usar é necessário ter em conta o ano letivo, tempo disponível, nível de conhecimentos prévios necessário, etc. Também é importante situar a competência que se pretende alcançar na taxonomia de Bloom ou na de SOLO para perceber se se trata de uma competência mais simples (níveis mais baixos das taxonomias) ou mais complexa.

Outro aspeto importante a definir é se a centralidade da metodologia pedagógica será no professor (o estudante estará mais passivo) ou se é no estudante (que estará mais ativo e o professor terá um papel muito forte na preparação da atividade, mas apenas de orientação durante a implementação da atividade) [260]. Métodos como palestras, exposição de conteúdos (incluindo estudo de casos ou exercícios feitos pelo professor), leitura, visualização de vídeos ou audição de gravações, ver demonstrações de resoluções ou assistir à implementação de experiências laboratoriais ou de visitas de estudo são considerados métodos passivos, uma vez que “ver e ouvir constituem estruturas passivas de aprendizagem” [273, p. 22].

No caso de se usar casos de estudo que são analisados pelos estudantes, trabalhos de grupo ativos, simulações, jogos educativos, atividades de role playing, ensino baseados em projeto, ensino baseados em problemas, implementação e construção de projetos, são métodos em que os estudantes estão ativos (mentalmente, emocionalmente e podem também estar fisicamente) no seu processo de aprendizagem, então tratam-se de metodologias ativas de aprendizagem [273].

Para Luchesi et al. [260] e Lopes [273], as metodologias ativas caracterizam-se principalmente por:

- Se centrarem no estudante promovendo uma postura ativa, a auto aprendizagem, a curiosidade, a procura pela informação (pesquisa), a reflexão e o sentido crítico, a tomada de decisões;
- Fomentam a autonomia e responsabilidade do estudante ao promoverem reflexão e sentido crítico, incentivarem à criatividade e à pró-atividade na construção de planos, projetos e ideias, preparando para assim para a futura atuação a nível profissional;
- Aumentam as oportunidades de problematização da realidade uma vez que permitem a interligação com o contexto socioeconómico e cultural, bem como uma relação entre a teoria e a prática mais próxima da realidade de forma a possibilitar observar, comparar e tirar conclusões;
- O papel do professor é fulcral para o planeamento da atividade pedagógica e durante a atividade tem o objetivo de ajudar e orientar o estudante procurando provocar, desafiar, direcionar e compreender o percurso e processo de

aprendizagem de cada estudante. Nesta metodologia, os docentes depositam mais confiança na capacidade dos estudantes se empenharem no seu próprio processo de aprendizagem e serem bem-sucedidos.

Vários estudos indicam que os estudantes aprendem mais e com mais profundidade se forem usadas metodologias ativas [260] [274], pois “tudo o que envolva fazer algo, baseado numa aprendizagem experimental, é mais eficaz do que uma aprendizagem baseada apenas na audição ou na leitura” [273, p. 23].

Existem várias classificações possíveis das diversas metodologias pedagógicas quanto ao grau de atividade do estudante (de passivo a ativo), sendo uma delas a que se mostra na figura 5.7. As metodologias referidas na figura 5.7 não são exaustivas e podem ser criados novos tipos de metodologias pedagógicas. As metodologias que envolvem atividades variadas e estimulantes têm maior probabilidade de promoverem de forma efetiva e duradoura as competências pretendidas [275].

Para auxiliar no desenvolvimento de atividades pedagógicas estão disponíveis diversas ferramentas auxiliares para ajudar os docentes a fazerem o planeamento das suas atividades de ensino/aprendizagem. Um estudo de Santos e Bassani [276] identificou diversas ferramentas disponíveis. Várias instituições de ensino superior também disponibilizam apoio online para o desenvolvimento de ferramentas pedagógicas, como é exemplo o “Course Design Toolkit” da University of Northern Colorado [277].

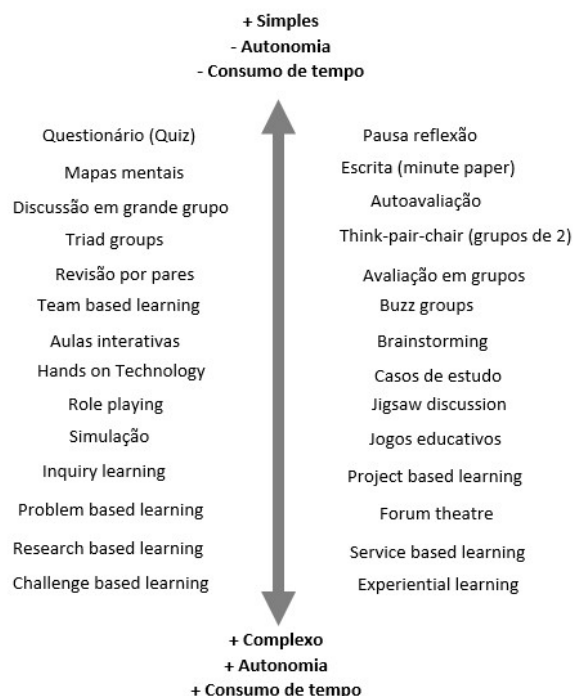


Figura 5.7 - Classificação de algumas estratégias/atividades de ensino/aprendizagem em função do nível de atividade dos estudantes, da complexidade, do nível de autonomia e do consumo de tempo para a implementação (baseado em [278] e [279]).

No âmbito da formação ética em engenharia, destaca-se o site “Engineering Ethics Toolkit” [280] desenvolvido pelo Engineering Professors Council e que disponibiliza muita informação sobre formação ética em engenharia, instruções e exemplos de aplicação de formação ética usando como base os casos de estudo em conjunto com debates. Também disponibiliza indicações sobre como desenvolver um novo caso de estudo para formação ética.

Para aplicação e validação do framework desenvolvido foram considerados 4 tópicos da engenharia eletrotécnica (tal como mostra a figura 5.4): as instalações elétricas; os mercados de energia elétrica; as redes inteligentes (smart grids) e os veículos elétricos. Para cada um destes tópicos foram analisadas possíveis dimensões éticas. Uma vez que cada tópico tem múltiplas dimensões éticas passíveis de serem oportunidade de promover formação ética ou de interligação com a ética e com a sustentabilidade, foram escolhidos objetivos específicos e intencionais de interligação entre a ética e a engenharia eletrotécnica para cada tópico:

1. Instalações elétricas: reconhecer como diferentes perspetivas éticas afetam os resultados técnico-científicos e avaliar o impacto de cada perspetiva;
2. Veículos elétricos: mostrar como uma perspetiva micro ética pode condicionar a investigação e deturpar a interpretação dos resultados (aparentes) ou condicionar as decisões; logo, como a perspetiva macro ética é importante para analisar sistemas complexos;
3. Mercados elétricos: mostrar como a ética é fundamental ao bom funcionamento dos sistemas criados pela engenharia e está subjacente aos seus pressupostos e constatar as consequências de não se agir com ética;
4. Smart grids: reconhecer os riscos e as dificuldades de prever comportamentos humanos em sistemas complexos.

No presente capítulo descrevem-se as ferramentas pedagógicas desenvolvidas para três dos tópicos técnico-científicos escolhidos (instalações elétricas, veículos elétricos e mercados elétricos), bem como o respetivo suporte técnico-científico teórico (já existente e também os desenvolvimentos técnicos que foram necessários) e os resultados das suas aplicações em sala de aula.

5.3 - Caso de aplicação: interligar instalações elétricas, ética e sustentabilidade (Atividade Pedagógica IE+E+S)

O framework desenvolvido e resumido na figura 5.3 foi aplicado no desenvolvimento de uma atividade pedagógica que interliga conteúdos técnico-científicos da área da engenharia eletrotécnica com a ética e a sustentabilidade. Neste processo aplicou-se a Opção B da figura 5.3, isto é, partiu-se da necessidade de promover uma competência no domínio da formação ética e em face desse objetivo é que foi escolhido o conteúdo técnico-científico a interligar.

Tendo em conta que a engenharia eletrotécnica desempenha um importante papel na (in)sustentabilidade pois está presente em áreas como a indústria, os processos comerciais e produtivos, os edifícios, os transportes, as comunicações, na saúde e no dia a dia das pessoas e instituições; considerou-se que também era importante interligar nesta atividade pedagógica a dimensão da sustentabilidade. Tal como já referido, quer a ética, quer a sustentabilidade estão muito pouco presentes de forma explícita nos cursos de engenharia eletrotécnica em Portugal [123].

Para que os futuros diplomados em engenharia exerçam a profissão com responsabilidade ética é importante que reconheçam a dimensão ética da engenharia. Neste sentido, é necessário que reconheçam que a prática da engenharia não é eticamente neutra, isto é, que as tecnologias e soluções propostas que os profissionais apresentam à sociedade estão dependentes de princípios éticos (ou seja, de diferentes valorizações dos valores éticos) [47]. Para tal, é necessário que os estudantes compreendam o ato de projetar e dimensionar (que são atividades centrais da engenharia [261]) como uma escolha de várias possíveis, que deve ser fundamentada; e não como uma única solução possível. Assim, se existirem várias soluções possíveis que cumprem os requisitos legais de segurança técnica, é importante compreender quais os valores éticos (que depende dos princípios éticos) que estão na fundamentação e origem de cada uma das soluções possíveis. Considerar que há múltiplas soluções possíveis resultantes de projetar/dimensionar também ajuda os estudantes a tomarem consciência das diferentes possíveis consequências (nomeadamente para o meio-ambiente). Perante isto, pretendeu-se desenvolver uma atividade pedagógica com o objetivo de permitir que os estudantes de engenharia eletrotécnica reconhecessem e compreendessem como diferentes valores éticos /perspetivas éticas podem afetar os resultados de cálculos técnico-científicos e de avaliar os impactos de cada alternativa possível, nomeadamente a nível da sustentabilidade.

Tendo por base a divisão dos tipos de conteúdos técnico-científicos que foi apresentado (tipo base; tipo projeto; tipo tecnologias emergentes), pode-se concluir que o tipo de conteúdo que mais se adequa é o tipo projeto. Este tipo de conteúdo envolve cálculos e regulamentação, e por isso são provavelmente vistos como independentes dos valores éticos, logo como eticamente neutros. Para procurar identificar possíveis interligações com a ética teve-se em conta o esquema da figura 5.6.

Apresenta-se de seguida a aplicação dos passos definidos no framework desenvolvido e resumido na figura 5.3.

Aplicação do 1º passo - identificar qual a competência ética geral que se pretende promover

Um grave problema que a Humanidade enfrenta na atualidade é a insustentabilidade pelo que atualmente se considera como prioritário alcançar a sustentabilidade ambiental, social e económica. Para Parise e Lombardi [281], “Sustainability is an ethical principle founded on generational equity, global justice, and protection of the environment.” (p.75). A

sustentabilidade tem também uma dimensão técnico-científica, pelo que se espera que a engenharia desempenhe um papel fulcral na procura pela sustentabilidade [247], nomeadamente através da criação de novas tecnologias mais sustentáveis. Apesar disso, Pahwa et al., [248] alertam que os estudantes de engenharia, apesar da engenharia ter um papel central no problema, têm poucos conhecimentos sobre a sua complexidade e abrangência.

Uma das principais dificuldades que os estudantes mostram em relação à valorização da ética na prática profissional da engenharia, é perceber que o posicionamento ético pode levar a resultados diferentes na prática da engenharia (que a engenharia não é eticamente neutra) [113] [254], tal como já foi referido. Como a engenharia é vista como uma ciência exata, muitos estudantes consideram que as decisões da engenharia são independentes de princípios éticos. Isso leva a reforçar a conceção da engenharia como eticamente neutra e, como tal, a desvalorizar a dimensão ética das decisões da engenharia.

Tendo em conta que é central reconhecer a dimensão ética da engenharia para que esta seja exercida com responsabilidade ética, é importante que os estudantes reconheçam que os resultados da engenharia e as propostas que os seus profissionais apresentam à sociedade são dependentes de princípios éticos (diferentes valorizações dos valores éticos). Para tal, é necessário que os estudantes compreendam o conceito de projetar/dimensionar (atividades centrais na engenharia) como uma escolha (que deve ser fundamentada) feita a partir de um conjunto de soluções possíveis [261] [47], e não como uma solução única exequível. Havendo várias soluções possíveis que cumpram as condições técnico-científicas e de segurança, é importante perceber quais as valorizações (que dependem princípios éticos) que podem estar subjacentes a cada uma das possíveis escolhas. Também é importante que os estudantes (e os profissionais da engenharia) sejam capazes de argumentar e fundamentar sobre as razões da sua escolha, e que apresentem aos clientes/sociedade a informação completa que permita que possam compreender quais as vantagens e desvantagens de cada opção tecnicamente possível. A disponibilização deste tipo de informação aos clientes/sociedade é um dos deveres deontológicos [17] dos profissionais da engenharia.

Para que os profissionais da engenharia sejam capazes de fornecer a informação aos clientes/sociedade é necessário que reconheçam a existência de diferentes opções possíveis, as estudem e analisem, quer do ponto de vista técnico-económico, quer da segurança, quer da sustentabilidade, quer dos valores éticos que promovem. Só assim, poderão escolher responsabilmente e/ou ajudar os seus clientes na escolha consciente e informada da melhor opção. A consideração e estudo de diferentes alternativas para o dimensionamento/projeto ajuda também a estar atento a possíveis diferentes consequências, o que possibilita a consideração e estudo de formas para atenuar e minimizar as possíveis consequências nefastas ou indesejáveis. Nesta linha, é importante que os docentes das várias unidades curriculares técnico-científicas alertem para as diferentes alternativas possíveis e não se limitem a uma visão/possibilidade única.

Perante este cenário, construiu-se uma ferramenta pedagógica (baseada em aprendizagem interdisciplinar) para facilitar o reconhecimento de que os princípios éticos individuais ou coletivos têm influência na prática da engenharia eletrotécnica, nomeadamente no que diz respeito ao projeto e respetivos cálculos. Para isso, definiu-se como objetivo geral criar um exemplo de estudo/atividade que permita aos estudantes de engenharia eletrotécnica reconhecerem e compreenderem como diferentes perspetivas éticas/valores éticos afetam os resultados técnico-científicos e avaliar o impacto de cada diferente alternativa e respetiva perspetiva ética.

Aplicação do 2º passo - identificar quais os conteúdos técnico-científicos que se adequam:

Tendo em conta o objetivo definido e a escolha dos conteúdos do tipo projeto, escolheu-se uma das áreas da engenharia eletrotécnica que tem uma forte componente de projeto e de cálculos de dimensionamento: as instalações elétricas. A escolha desta área ajuda a mostrar como, apesar de ser uma área regulamentada, não há uma única solução possível e a escolha da proposta final depende de valores éticos. Também se considerou importante associar esta ferramenta pedagógica ao grande desafio da sustentabilidade, uma vez que este é um grave e importante problema que a Humanidade atualmente enfrenta e para o qual se espera que a engenharia eletrotécnica contribua.

A escolha das instalações elétricas deveu-se à sua importância, pois é necessária e está presente em quase todas as outras áreas da eletrotecnia [282]. Tal deve-se ao facto de que é necessária a todos os sistemas [283] que implicam consumo ou produção de energia elétrica, nomeadamente em instalações de produção, transporte e distribuição de energia elétrica; em sistemas de controlo, processamento, armazenamento e transmissão de informação; em sistemas de comunicações; em sistemas industriais, incluindo produção, automação, controlo e instrumentação; em edifícios de serviços ou de habitação; em sistemas de segurança e de iluminação pública. Como tal, as instalações elétricas devem fazer parte da formação em engenharia eletrotécnica.

As sociedades e indivíduos contemporâneos, tornaram-se dependentes da energia elétrica, pelo que as instalações elétricas são utilizadas diariamente por quase todas as pessoas e está presente em quase todos os locais. Uma vez que a utilização da energia elétrica envolve riscos para pessoas e bens, o projeto de instalações elétricas deve ser executado de modo a que a distribuição e utilização da energia elétrica ocorra de forma eficiente, cómoda, flexível e, principalmente, segura [284]. Neste âmbito, salienta-se que os diplomados em engenharia eletrotécnica podem ser responsáveis pelas fases de conceção, de projeto, de instalação, de fiscalização, de supervisão e de exploração de instalações elétricas. Esta área enquadra-se nos conteúdos tipo projeto, uma vez que implica cálculos e dimensionamentos, escolhas e tomadas de decisão perante várias alternativas possíveis (importante ponto de interligação com a ética), e trata-se de uma área consolidada nas suas práticas e fortemente regulamentada por vários

regulamentos e legislação, da qual se destacam as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) [269]. O facto de ser uma área regulamentada pode induzir a perceber a sua aplicação prática como neutra do ponto de vista dos valores éticos, e por isso é uma excelente área para investigar se se trata de um exemplo de “neutralidade ética” (ser insensível aos diferentes valores éticos) ou não.

Aplicação do 3º passo - identificar qual o conteúdo técnico-científico específico em que se vai implementar:

As instalações elétricas abrangem uma vasta diversidade de aspetos e conteúdos que se interrelacionam entre si. Como os conteúdos desta área são vastos, delimitou-se o presente estudo a um conjunto específico de conteúdos: cálculos para o dimensionamento das secções dos condutores elétricos em baixa tensão. A figura 5.8 mostra de forma sucinta como este tópico se enquadra no desenvolvimento dos cálculos de um projeto de instalações elétricas, com foco na segurança da instalação.

Aplicação do 4º passo: definir qual a competência que se pretende promover a partir da dimensão ética identificada:

Tendo por base os passos anteriores, as competências que se esperam que os estudantes desenvolvam são (usando a Taxonomia de Bloom [155]):

- Identificar a existência de diferentes possibilidades para o dimensionamento da secção de condutores elétricos
- Associar os valores éticos com cada alternativa para o dimensionamento da secção de condutores elétricos
- Aplicar as diferentes alternativas de dimensionamento da secção de condutores elétricos em função das diferentes valorizações éticas
- Comparar as diferentes alternativas em função dos aspetos técnicos, económicos, de sustentabilidade e éticos
- Selecionar a melhor alternativa de dimensionamento da secção de condutores elétricos, atribuindo ponderações aos diferentes valores/ perspetivas éticas
- Elaborar fundamentação sobre os critérios que levaram à escolha.



Figura 5.8 - Enquadramento do tópico escolhido, relativo ao cálculo da secção de condutores elétricos dentro do da segurança nas instalações elétricas.

Aplicação do 5º passo - subdividir em objetivos pedagógicos:

Tendo por base as competências, definiram-se os seguintes objetivos pedagógicos:

- Identificar a existência de diferentes possibilidades para o dimensionamento da secção de condutores elétricos:
 - Conhecer os passos para o dimensionamento da secção dos condutores definidos na legislação
 - Reconhecer que a legislação define mínimos técnicos, mas permite liberdade ao projetista para fazer alternativas, desde que se cumpra a legislação
- Associar os valores éticos com cada orientação alternativa para o dimensionamento da secção de condutores elétricos
 - Identificar quais os valores éticos relevantes para o caso em estudo (tendo em vista a sustentabilidade)
 - Conhecer outras perspetivas que podem levar a diferentes dimensionamentos: perspetiva económica de curto prazo; perspetiva ambientalista; perspetiva económica de longo prazo; e perspetiva sustentável
- Aplicar as diferentes alternativas de dimensionamento da secção de condutores elétricos em função das diferentes valorizações éticas
 - Compreender a sequência do raciocínio lógico-matemático e dos cálculos para cada alternativa
 - Saber aplicar os cálculos a exemplos concretos de dimensionamento

- Comparar as diferentes alternativas em função dos aspetos técnicos, económicos, de sustentabilidade e éticos
 - Analisar os resultados obtidos com cada alternativa
 - Refletir sobre as diferenças de cada alternativa
 - Identificar as vantagens e desvantagens de cada alternativa
- Selecionar a melhor alternativa de dimensionamento da secção de condutores eléctricos
 - Analisar as vantagens e desvantagens de cada alternativa
 - Associar cada vantagem e desvantagem com os valores éticos
 - Atribuir valorizações aos diferentes valores éticos
 - Escolher a alternativa que lhe parece a melhor
- Elaborar fundamentação sobre os critérios que levaram à escolha
 - Estruturar uma argumentação lógica sobre a escolha dos critérios e a valorização atribuída a cada valor ético e a cada alternativa
 - Escrever texto justificativo, explícito e claro.

Aplicação do 6º passo - Desenvolvimento da atividade pedagógica:

A atividade pedagógica desenvolvida foi aplicada numa aula da unidade curricular de Sistemas Elétricos de Baixa Tensão (3ºano, 2º semestre) no ano letivo de 2023/2024 da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da FEUP. Quando a atividade foi aplicada os alunos já tinham aprendido a dimensionar a secção de condutores eléctricos segundo as RTIEBT [269]. Agradece-se ao Prof. José Rui Ferreira (responsável pela unidade curricular de Sistemas Elétricos de Baixa Tensão) pela sua disponibilidade para que a atividade pedagógica desenvolvida tenha sido aplicada.

Como o tempo disponível para aplicar a atividade era muito curto, optou-se por uma metodologia que não necessitasse de muito tempo, pelo que, tendo por base a figura 5.7, se optou por recorrer a aulas interativas. Esta opção intercala momentos de exposição, apresentação de exemplos, questionários (com tempo limitado), reflexões individuais ou a pares, interações entre estudantes e entre estes e a docente, e debates abertos a todos os participantes. A escolha deste método também teve em conta o elevado número de estudantes inscritos na unidade curricular, uma vez que esta atividade pode ser implementada facilmente em turmas grandes e requer pouco tempo para a sua implementação. Devido ao limite de tempo não foi possível que os estudantes fizessem os cálculos das diversas alternativas nem que fundamentassem por escrito sobre a sua escolha/opinião.

Uma vez que a implementação desta atividade se enquadrava num estudo sobre a sua adequabilidade para os objetivos pretendidos, foram recolhidos dados antes e após a atividade. Este método é reconhecido como válido para avaliar atividades pedagógicas novas [199]. Os dados recolhidos por questionário não contavam para a nota final dos estudantes.

A atividade desenvolvida (Atividade Pedagógica IE+E+S) e implementada foi organizada na seguinte sequência/estrutura (os aspetos técnico-científicos desta atividade são apresentados no ponto 5.4 deste capítulo e a sua avaliação é apresentada no ponto 5.5):

1. Inquérito pré-atividade
2. Enquadramento e lançamento de um desafio:
 - Partir da afirmação “A engenharia é uma área técnica que se baseia em cálculos e por isso é eticamente neutra”.
 - Questionar sobre se concordam ou não com esta afirmação e pedir que votem (usando suporte digital).
 - Explicar que ser “eticamente neutra” significa que não depende de valores éticos de quem faz os cálculos ou de quem define a forma de serem feitos
3. Despertar a curiosidade: vai-se testar a veracidade da afirmação usando uma área cujos cálculos estão muito bem definidos por legislação própria: o dimensionamento da secção dos condutores elétricos. Pretende-se verificar se a perspetiva ética individual influencia a escolha da secção.
4. Para fazer a verificação vai-se usar um caso de estudo:
 - Descrever o enunciado do caso de estudo.
5. Definir as diferentes perspetivas éticas /valores éticos que serão consideradas no exemplo:
 - Perspetiva deontológica: o mais importante é cumprir a legislação
 - Perspetiva económica de curto prazo: o mais importante é minimizar o investimento
 - Perspetiva ambientalista: o mais importante é minimizar o impacto no meio ambiente
 - Perspetiva económica de longo prazo: o mais importante é minimizar o custo total durante o tempo de vida da instalação
 - Perspetiva sustentável: o mais importante é minimizar simultaneamente o impacto no meio ambiente e o custo a longo prazo
6. Descrever a aplicação da perspetiva deontológica ao exemplo: nesta perspetiva o mais importante é cumprir o dever, que neste caso corresponde à legislação em vigor (RTIEBT) [269]
 - Demonstrar os cálculos das várias etapas do dimensionamento: critério de aquecimento, proteção contra sobrecargas, critério da queda de tensão, verificação da proteção contra curto-circuitos (tempo de atuação)
 - Evidenciar a secção que resulta do processo de cálculo e qual a densidade de corrente para essa secção
7. Considerando uma perspetiva económica de curto prazo: nesta perspetiva o mais importante é minimizar os custos de investimento

- Descrever/explicar argumentação a favor desta perspetiva e os respetivos cálculos
 - Evidenciar a secção que resulta do processo de cálculo e qual a densidade de corrente para essa secção
8. Pausa para comparação das vantagens e desvantagens de cada uma das perspetivas
- Considerando o custo de investimento, a eficiência no uso do cobre (usando a densidade de corrente por unidade de secção), minimização do impacto ambiental e sustentabilidade (minimização do uso de recursos (cobre))
 - Debate em pares
 - Pedir que votem individualmente (usando suporte digital) sobre qual a opção que acham ser a melhor
9. Despertar a curiosidade: mas nem tudo o que parece é e a realidade é muito complexa
- Apresentar a relação da diferença entre a corrente máxima admissível e a corrente de serviço do cabo, com o tempo de vida dos condutores
 - Mostrar o tempo de vida calculado para cada uma das alternativas anteriormente analisadas (deontológica e económica de curto-prazo)
 - Reflexão e debate sobre os impactos da redução do tempo de vida do cabo (na alternativa económica de curto-prazo)
10. Identificar as falhas/pontos fortes e fracos na análise das alternativas deontológica e económica de curto-prazo
- Não analisam os custos durante o funcionamento da instalação
 - Não consideram a dimensão ambiental
 - Não avaliam o tempo de vida do cabo
 - Não consideram as emissões de CO₂
11. Descrever a aplicação da perspetiva ambientalista: o mais importante é minimizar o impacto no meio ambiente
- descrever/explicar argumentação a favor desta perspetiva e os respetivos cálculos
 - Identificar conflitos entre os diversos objetivos e avaliar as emissões globais de CO₂ (devido ao uso de recursos (cobre) e às perdas de Joule)
 - Apresentar os resultados da secção para a aplicação da perspetiva ambientalista
12. Descrever a aplicação da perspetiva económica de longo prazo: o mais importante é minimizar os custos de longo prazo através de:
- Descrever/explicar argumentação a favor desta perspetiva e os respetivos cálculos
 - Apresentar os resultados para a aplicação da perspetiva sustentável

13. Descrever a aplicação da perspectiva sustentável: o mais importante é minimizar o impacto no meio ambiente e os custos totais (incluindo os de longo prazo)

- Descrever/explicar argumentação a favor desta perspectiva e os respetivos cálculos
- Identificar conflitos e avaliar as emissões globais de CO₂ (devido ao uso de recursos (cobre) e às perdas de Joule)
- Apresentar os resultados para a aplicação da perspectiva sustentável

14. Pausa para comparação das vantagens e desvantagens das várias perspectivas consideradas

- Identificar as vantagens e desvantagens de cada uma
- debate em pares
- Pedir que votem (usando suporte digital ou de mão no ar) sobre qual a opção que acham ser a melhor

15. Debate final aberto a todos os estudantes

16. Avaliação das aprendizagens e inquérito pós-atividade

Esta atividade permite que os estudantes tomem conhecimentos de métodos alternativos para o cálculo da secção de um condutor; que percebam que essas alternativas têm objetivos diferentes, logo valorizam os valores éticos de forma diferente; têm em conta diferentes aspetos relacionados com as instalações elétricas e a sua complexa interação com a realidade (os cálculos que a engenharia faz são sempre uma simplificação da complexa interação dos fenómenos reais).

Um dos grandes benefícios de as atividades propostas possibilitar que os estudantes conheçam e saibam aplicar diferentes possíveis formas de escolha da secção dos condutores, uma vez que usualmente só se ensina os estudantes o dimensionamento segundo as RTIEBT, isto é, segundo uma perspectiva estritamente deontológica. O outro grande benefício é que os estudantes podem constatar na prática que os diferentes métodos e possíveis formas de cálculo são baseados em critérios/perspetivas diferentes, logo em valores éticos diferentes. Tal permite evidenciar que a engenharia não é neutra do ponto de vista ético.

Nas figuras 5.9 e 5.10 mostram-se as diferenças entre o ensino tradicional e o resultado da atividade pedagógica que resultou da interligação entre as instalações elétricas, a ética e a sustentabilidade. Tal como mostra a figura 5.10, a interligação entre as três áreas permite alargar a compreensão dos fenómenos em causa, das diversas interações e possibilidades e, como tal, de uma procura de melhores soluções, mais responsáveis e conscientes, nomeadamente ao nível da sustentabilidade. Desta forma, permite que os estudantes alarguem a sua visão para além das questões técnicas e identifiquem dimensões éticas e de sustentabilidade que se escondem por detrás de aspetos técnicos que podem parecer simples.

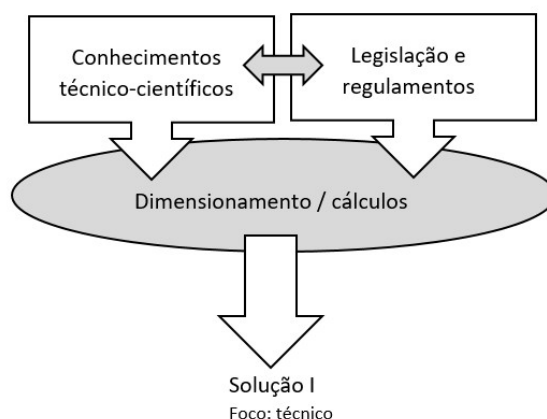


Figura 5.9 - Síntese do método de ensino tradicional do dimensionamento da secção de um condutor elétrico utilizando apenas o método definido nas RTIEBT (garantindo os requisitos mínimos de segurança).

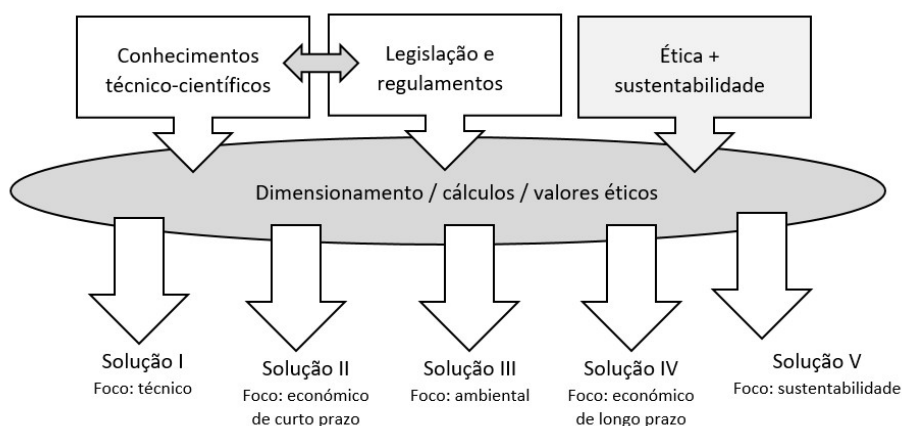


Figura 5.10 - A interligação entre instalações elétricas, ética e sustentabilidade permitiu (Atividade Pedagógica IE+E+S) obter 5 soluções diferentes para o dimensionamento da secção transversal do condutor, e relacioná-las com valores éticos e de sustentabilidade.

A metodologia de avaliação das aprendizagens após a Atividade Pedagógica IE+E+S baseou-se em questões diretas sobre as várias perspetivas aplicadas a exemplos concretos constantes da atividade. Os estudantes não tinham de fazer cálculos, mas tinham de analisar propostas e resultados para tomar decisões ou identificar opções ou conflitos. A avaliação foi implementada com questões de escolha múltipla no final da atividade.

A avaliação não incluiu cálculos uma vez que durante a atividade os estudantes não puderam fazer exemplos de cálculo por limitação do tempo disponível. Desta forma garantiu-se o alinhamento construtivo [255] entre a atividade e a avaliação (o que foi solicitado na avaliação estava coerente com o que foi proporcionado na atividade pedagógica). Contudo, o mais adequado é que a atividade de formação possa futuramente proporcionar tempo para que os alunos façam os cálculos e depois estes sejam também incluídos na respetiva avaliação de aprendizagens. Os resultados da avaliação descrevem-se no ponto 5.5.

5.3.1 - Desenvolvimentos técnicos para a Atividade Pedagógica IE+E+S

Usualmente as unidades curriculares de instalações elétricas só incluem formação sobre os cálculos impostos explicitamente pelas RTIEBT, isto é, do ponto de vista de uma perspectiva deontológica. Sendo a área das instalações elétricas uma área muito regulamentada, não há muitas publicações de artigos ou de investigações científicas nesta área. No entanto, alguns estudos e literatura referem aspetos que não são incluídos nas RTIEBT, nomeadamente o cálculo da secção mais económica considerando todo o tempo de vida da instalação [285] [286] [287] [288]. Estudos mais recentes apresentam também outros aspetos para o cálculo da secção, nomeadamente a densidade de corrente [289] ou as emissões de CO₂ [290] [291]. Apesar destes estudos, foi necessário no âmbito do presente trabalho de investigação e desenvolvimento desenvolver formulações matemáticas eficazes e adequadas à sua utilização em ambiente académico e na prática profissional de desenvolvimentos de projetos reais. Essas formulações são descritas nos pontos seguintes, que descrevem os métodos de cálculo da secção de condutores segundo cada uma das perspectivas que foram consideradas na atividade pedagógica.

5.3.1.1 - Método de cálculo segundo uma perspectiva deontológica

Nesta perspectiva ética, o valor mais importante é o cumprimento das regras deontológicas, o que inclui cumprir os regulamentos e legislação aplicável, pelo que neste ponto se descreve o método de cálculo da secção de condutores elétricos aplicando as RTIEBT [269].

As instalações elétricas estão presentes em quase todos os edifícios e são usadas diariamente por quase todas as pessoas, por isso é importante salientar que se não forem corretamente dimensionadas e se não forem implementadas medidas de proteção adequadas, “a eletricidade pode ser (...) causa de grave dano para as instalações e os equipamentos (efeitos térmicos suscetíveis de causarem queimaduras, incêndio, sobreaquecimento ou a sua própria destruição)” [292]. Por este motivo, o foco das RTIEBT [269] é a imposição dos mínimos técnicos necessários para garantir a segurança da instalação e das pessoas. No presente estudo será apenas considerado o dimensionamento dos condutores de fase e a segurança da instalação, uma vez que esta interfere com o dimensionamento da secção dos condutores de fase.

Para procurar garantir a segurança é necessário evitar o sobreaquecimento, o que implica fazer o correto dimensionamento dos condutores e dos dispositivos de proteção, nomeadamente contra sobreintensidades (correntes acima do normal previsto para a instalação, que são passíveis de causar danos à instalação [293]).

O ponto de partida para o dimensionamento dos condutores elétricos é que, ao serem atravessados por corrente elétrica, vão sofrer aquecimento. O principal objetivo é evitar que o sobreaquecimento do condutor, devido à passagem da corrente elétrica, possa levar a um sobreaquecimento do seu isolamento que cause a sua deterioração e seja passível de causar focos de incêndio: “Os equipamentos elétricos não devem constituir causa de incêndio para os materiais próximos” [269]. Por isso, é necessário garantir que a instalação não vai sobreaquecer para além dos limites suportados pelo isolamento do condutor, quer em regime permanente quer em regime de defeito.

Para estudar as condições de regime permanente é preciso conhecer os limites da corrente que, ao percorrer o condutor, causam o aquecimento máximo que o isolamento suporta em regime permanente (de 70°C para condutores de cobre e isolamento de Policloreto de Vinilo (PVC) e de 90°C se o condutor for de cobre e isolamento de Polietileno Reticulado (XLPE) (Santos, 2016)). Estes limites, que estão tabelados nas RTIEBT, resultam de ensaios a que submeteram os condutores em condições predefinidas. Os valores de corrente que levam ao limite de aquecimento que cada condutor suporta, dependem dos materiais que constituem o condutor e da secção do condutor.

A corrente que, em regime permanente, provoca o aquecimento máximo permitido na alma condutora é designada por intensidade de corrente máxima admissível (I_z) e os seus valores encontram-se tabelados de acordo com os ensaios feitos com condições padrão. Contudo, as condições reais em que a instalação vai ser operar podem ser muito diferentes das condições padrão, nomeadamente no que diz respeito à temperatura ambiente real da instalação (ou do solo, no caso do condutor ser enterrado) e ao eventual agrupamento de cabos no mesmo percurso (o que aumenta o aquecimento porque os condutores se aquecem uns aos outros).

Outro aspeto importante para o dimensionamento das secções dos condutores, uma vez que vai influenciar a temperatura que o condutor vai alcançar para a mesma corrente, é a forma como os condutores vão estar instalados (modo de instalação). Tal, influenciará a troca térmica do condutor com o ambiente, e assim influenciará a temperatura resultante na alma condutora.

Do atrás exposto, pode-se resumir que a corrente máxima admissível (I_z) para cada secção de cada tipo de condutor, depende [293] das características do condutor (tipo de alma condutora e tipo de isolamento); da temperatura ambiente (ou do solo se o método de instalação for enterrado); da existência ou não de agrupamento de condutores; e do modo de instalação. Os valores de I_z estão tabelados e as suas tabelas estão organizadas de acordo com os modos de instalação (agrupadas em 7 grupos que se designam por “Métodos de Referência” e que são designados pelas letras A, B, C, D, E, F e G [294]); o tipo de materiais constituintes do condutor; o regime ser trifásico ou monofásico; e a secção. Para se saber qual a I_z para um dado condutor e secção, é necessário definir o modo de instalação mais adequado (tendo em conta as características do local e as influências externas); a partir do modo de instalação, identificar o respetivo Método de Referência e consultar a correspondente tabela dos valores

de I_z . Os valores de I_z resultam da aplicação da expressão $I_z = a \cdot (S)^b$ [241], em que a é a capacidade de condução de corrente de 1mm² de secção e b é usualmente 0,625.

Para se fazer o dimensionamento da secção dos condutores é também necessário conhecer a corrente que vai percorrer o condutor em regime permanente, e esta depende das características das cargas que o condutor vai alimentar. Esta corrente será designada por corrente de serviço prevista (I_B).

De acordo com as RTIEBT, para que o condutor não ultrapasse o seu limite de sobreaquecimento é necessário que a corrente máxima admissível (I_z) do condutor seja maior que a corrente de serviço prevista (I_B), condição que se designa por Critério de Aquecimento:

$$I_z > I_B \quad (5.1)$$

Em que:

I_z - corrente máxima admissível do condutor (A)

I_B - corrente de serviço prevista no condutor (A)

Para uma correta aplicação do Critério de Aquecimento, deverão ser consideradas as condições reais de instalação do condutor, e não apenas as condições padrão, pelo que se designa $I_{z_{real}}$ como a corrente máxima admissível do condutor nas condições reais de operação. O seu valor é obtido a partir do valor de I_z (lido das tabelas) e usando fatores de correção (F_c) que dependem das diferenças entre as condições padrão e as condições reais de operação do condutor, usando a expressão [269]:

$$I_{z_{real}} = I_z \times F_c(t.amb.) \times F_c(agrup.) \quad (5.2)$$

Em que:

I_z - corrente máxima admissível do condutor (A)

$I_{z_{real}}$ - corrente máxima admissível do condutor tendo em conta as condições reais de operação do condutor (A)

$F_c(t.amb.)$ - fator de correção tendo em conta a temperatura ambiente (ou do solo, se enterrado)

$F_c(agrup.)$ - fator de correção tendo em conta o agrupamento de condutores

Os fatores de correção estão tabelados para cada caso. Tendo em conta a situação real de operação do condutor, a condição de cumprimento do Critério de Aquecimento passa a ser:

$$I_{z_{real}} > I_B \quad (5.3)$$

Em que:

$I_{z_{real}}$ - corrente máxima admissível do condutor tendo em conta as condições reais de operação do condutor (A)

I_B - corrente de serviço prevista (A)

Se, ao incorporar os fatores de correção, a condição (5.3) do Critério de Aquecimento não se verificar, será necessário aumentar a secção até que o valor da I_{zreal} satisfaça a referida condição. Para melhor clarificar a aplicação do Critério de Aquecimento apresenta-se na figura 5.11 um fluxograma que evidencia a sequência lógica para aplicação deste critério. O resultado da aplicação deste critério é o valor mínimo que a secção poderá ter para não ser ultrapassado o aquecimento máximo que o condutor suporta, em regime permanente e em situações de funcionamento “normal”. Contudo, pode-se escolher uma secção superior, se tal se vier a justificar.

Para além da situação de regime permanente, é necessário estudar as situações em que a corrente no condutor ultrapasse o valor previsto I_B e tome valores elevados passíveis de causar danos ao condutor (sobreintensidades). Nessas situações, o Critério de Aquecimento não garante a proteção da instalação.

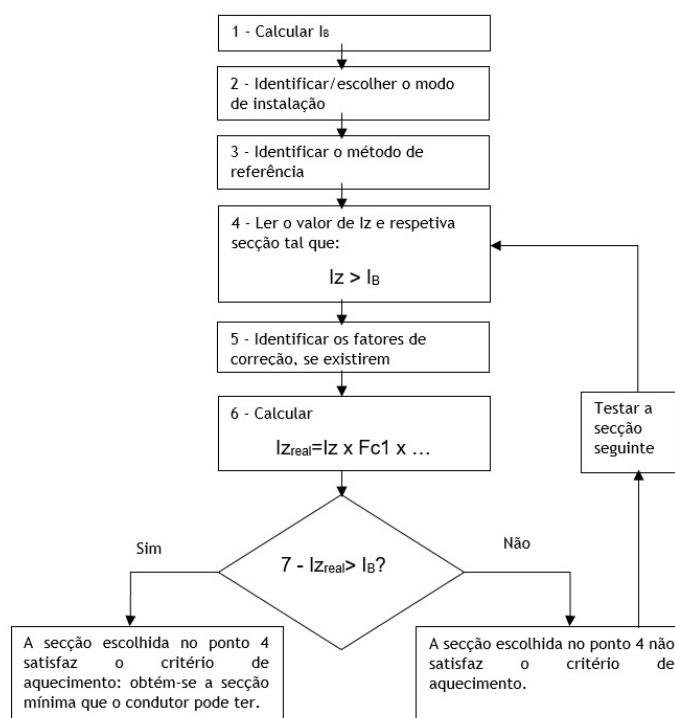


Figura 5.11 - Fluxograma que evidencia a sequência lógica para aplicação do Critério de Aquecimento [295].

As causas das sobreintensidades podem subdividir-se em sobrecarga (ocorre devido ao número de cargas ser superior ao previsto) e curto-circuitos (ligação de dois pontos do circuito com diferentes potenciais através de uma baixa impedância devido a um defeito, originando uma elevada corrente). Estas duas situações podem causar correntes suscetíveis de causar sobreaquecimento que, por sua vez, pode colocar a instalação em risco, e como tal as pessoas

que a utilizam. Perante tal, são usados fusíveis ou disjuntores, que têm a capacidade de detetar sobreintensidades e de interromper o circuito de forma automática, caso a corrente ultrapasse limites pré-definidos que sejam capazes de causar danos à instalação.

Para fazerem proteção em situação de sobrecarga, as RTIEBT definem os equipamentos de proteção (sejam fusíveis ou disjuntores), têm que respeitar simultaneamente as seguintes condições [294]:

- A corrente estipulada do dispositivo de proteção (definida como a corrente que o equipamento suporta em regime permanente sem atuar e designada por I_n) seja maior ou igual à corrente de serviço do respetivo condutor (I_B) e menor ou igual que a corrente máxima admissível (real) na canalização ($I_{Z_{real}}$):

$$I_B \leq I_n \leq I_{Z_{real}} \quad (5.4)$$

Em que:

$I_{Z_{real}}$ - corrente máxima admissível do condutor nas condições reais de operação

(A)

I_B - corrente de serviço prevista (A)

I_n - corrente estipulada para o dispositivo de proteção (A)

- A corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção, designada por I_2 (corrente que leva à atuação do equipamento de proteção num tempo não superior ao tempo convencional de funcionamento) seja menor ou igual que 1,45 vezes a corrente máxima admissível (real) na canalização ($I_{Z_{real}}$):

$$I_2 \leq 1,45 \times I_{Z_{real}} \quad (5.5)$$

Em que:

$I_{Z_{real}}$ - corrente máxima admissível do condutor nas condições reais de instalação (A)

I_2 - corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção (A)

A figura 5.12 mostra estas condições e evidencia a relação entre as diversas grandezas em causa.

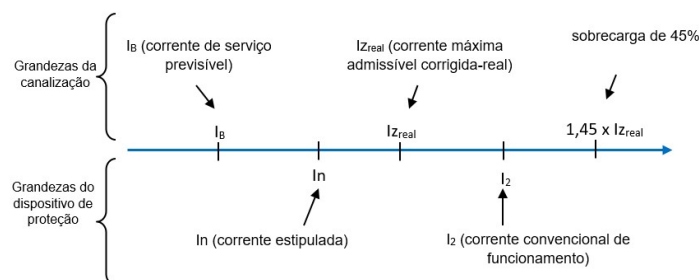


Figura 5.12 - Representação das condições que garantem a proteção face a sobrecargas [295].

A condição $I_B \leq I_n$ traduz a imposição de que o equipamento de proteção não atue para a corrente de serviço (I_B). A condição $I_n \leq I_{z_{real}}$ exprime que a corrente $I_{z_{real}}$ tem que ser considerada anômala, devendo conduzir à atuação do aparelho de proteção ao fim de algum tempo. A condição $I_2 \leq 1,45 \times I_{z_{real}}$ impõe que o equipamento terá de atuar para uma sobrecarga de 45% acima da corrente $I_{z_{real}}$, até ao tempo convencional de funcionamento (que está definido nas RTIEBT).

Para promover a segurança da instalação também é necessário escolher um equipamento de proteção para a situação de curto-circuitos [296], uma vez que este fenómeno origina elevados sobreaquecimentos e forças eletrodinâmicas. Os curto-circuitos devem ser interrompidos o mais rapidamente possível, e de modo a não ultrapassar os 5 segundos [296] [269].

Os efeitos que os curto-circuitos podem causar num condutor vão depender da sua duração, da causa que lhe deu origem, da sua localização e do tipo de curto-circuito: cerca de 80% dos casos são fase-neutro; cerca de 15% são fase-fase; e cerca de 5% são trifásicos [297]. Os principais efeitos são [297]: a deterioração do isolamento e dos condutores (em resultado do aparecimento de arcos elétricos); surgirem forças eletrodinâmicas que podem causar danos nos barramentos dos quadros elétricos ou nos cabos; e um aumento elevado da temperatura do condutor (devido ao aumento da corrente) que pode causar danos no isolamento.

Na situação em que o curto-circuito ocorre muito próximo dos terminais do equipamento de proteção, a impedância do circuito de defeito (Z_{cc}) vai limitar a corrente de curto-circuito (I_{cc}). Na maioria dos casos, a onda da corrente I_{cc} vai resultar da soma de duas componentes, pois o curto-circuito ocorre longe da fonte [297]:

- uma componente contínua (I_{DC}) exponencialmente decrescente:

$$I_{DC}(t) = \frac{E_s}{Z_{cc}} \sqrt{2} \sin(\phi - \theta) e^{\frac{-R}{L_i} t} \quad (5.6)$$

Em que:

I_{DC} - componente contínua da corrente de curto-circuito (A)

E_s - tensão da fonte (V)

Z_{cc} - impedância do circuito de defeito (Ω)

R - componente resistiva de Z_{cc} (Ω)

L_i - indutância do circuito de defeito (H)

Φ - ângulo de defasamento entre o instante de início do defeito e a passagem da onda por zero ($^\circ$)

t - instante de tempo (s)

θ - ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente ($^\circ$)

- e uma componente alternada (I_{AC}):

$$I_{AC}(t) = \frac{E_s}{Z_{cc}} \sqrt{2} \sin(\omega t + \phi - \theta) \quad (5.7)$$

Em que:

I_{AC} - componente AC da corrente de curto-circuito (A)

E_s - tensão da fonte (V)

Z_{cc} - impedância do circuito de defeito (Ω)

Φ - ângulo de defasamento entre o instante de início do defeito e a passagem da onda por zero ($^\circ$)

t - instante de tempo (s)

ω - velocidade angular ($2\pi f$) (rad/s)

θ - ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente ($^\circ$)

A corrente I_{cc} será igual à soma das duas componentes: $I_{cc}(t) = I_{AC}(t) + I_{DC}(t)$. Se o curto-circuito for simétrico ou equilibrado, Φ é igual a θ , pelo que a corrente I_{cc} não terá componente contínua ($I_{DC}=0$). Mas, se Φ for igual a zero (o que ocorre num curto-circuito assimétrico ou desequilibrado) há um deslocamento inicial da onda da corrente I_{cc} devido à soma da componente contínua exponencialmente decrescente [297]. Este deslocamento pode conduzir ao pior caso (que corresponde ao valor instantâneo inicial de I_{cc} mais elevado), em que a corrente I_{cc} pode atingir o máximo de [298]:

$$I_{pico} = k \cdot \sqrt{2} I_{cc} \quad (5.8)$$

Em que:

I_{cc} - valor eficaz da corrente de curto-circuito (A)

I_{pico} - valor de pico da corrente de curto-circuito (A)

k - constante de acordo com a norma IEC 60909

O cálculo da constante k (que depende da relação entre a componente resistiva (R) e reativa (X) de Z_{cc}), é feito com base na norma IEC 60909 [298]:

$$k = 1,02 + 0,98e^{\frac{-3 \cdot R}{X}} \quad (5.9)$$

Em que:

k - constante de acordo com a norma IEC 60909

R - componente resistiva de Z_{cc} (Ω)

X - componente reativa de Z_{cc} (Ω)

O valor da constante k pode variar de 1,05 até o máximo de 2, sendo que o pior caso corresponde à situação em que $k=2$ do ponto de vista da segurança das instalações elétricas [297] [298].

A corrente I_{cc} pode ser calculada por vários métodos [297] [299] [300]:

- método da impedância, que permite calcular a corrente I_{cc} em qualquer ponto da instalação com grande precisão e é o mais adequado para instalações de baixa tensão, exploradas em regime radial. Este método considera todos os componentes da rede.
- método da composição, que só permite calcular o módulo da corrente I_{cc} , e que é adequado para instalações de baixa tensão em que se desconhecem os dados da rede a montante.
- método convencional, que considera que a tensão na origem do circuito durante o curto-circuito toma o valor de 80% ou 95% da tensão nominal; que é desprezável a reatância dos condutores para secções inferiores a 150mm^2 ; que para a secção a partir de 150mm^2 se aumenta a resistência em 15% para 150mm^2 , em 20% para 185mm^2 , em 25% para 240mm^2 e em 30% para 300mm^2 . Este método só pode ser aplicado em instalações que estejam muito afastadas da fonte.
- método da corrente de curto-circuito termicamente equivalente, que é o método mais adequado para calcular a corrente I_{cc} em redes de alta tensão e está definido na norma EN 60865 [300].

O método que é considerado mais adequado para o cálculo da corrente de curto-circuito mínima (curto circuito fase-neutro no extremo da canalização) é o método convencional; e que para o cálculo da corrente de curto-circuito máxima (curto circuito fase-fase próximo dos terminais do equipamento de proteção) o mais adequado é o método da impedância.

No que diz respeito à proteção em situação de curto-circuito, e como a corrente de curto-circuito tem um elevado valor, é preciso ter em conta duas situações extremas:

- situação em que I_{cc} toma o valor previsível mais elevado - em que é necessário garantir que o dispositivo de proteção contra sobreintensidades seja capaz de a interromper em boas condições de funcionamento (Estudo do poder de corte);
- situação em que I_{cc} toma o valor previsível mais baixo - em que é necessário que o equipamento de proteção atue antes que se atinja o tempo de fadiga térmica do condutor (T_{ft}), e antes de 5 segundos [269] (Estudo do tempo de atuação).

Do ponto de vista do tempo de atuação, a pior situação vai acontecer quando o curto-circuito causar a corrente I_{cc} mais baixa prevista para a instalação (I_{ccmin} - corrente de curto-circuito mínima). Tal ocorre quando o defeito que origina o curto-circuito seja no extremo do condutor protegido pelo equipamento de proteção em análise, e quando o defeito é fase-neutro, se o neutro for distribuído (caso contrário será fase-fase). Nesta situação, a corrente I_{cc} vai ser calculada pelo método convencional e o seu valor será limitado principalmente pela

impedância dos condutores do circuito de defeito [299] [297]. Para secções até 150mm² e para o interior de uma instalação de baixa tensão, pode usar-se a expressão (5.10) [297]:

$$I_{CC_{min}} = \frac{0,95 \times V_s}{1,5 \times (R_{fase} + R_{neutro})} \quad (5.10)$$

Em que:

V_s - tensão simples nominal (V)

R_{fase} - resistência do condutor de fase (Ω)

R_{neutro} - resistência do condutor de neutro (Ω)

O cálculo da resistência dos condutores pode ser feito de forma aproximada através de:

$$R_k = \rho \frac{L}{S} \quad (5.11)$$

Em que:

R_k - resistência do condutor (Ω)

ρ - resistividade do material da alma condutora ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

S - secção do condutor (mm^2)

L - comprimento do condutor (m)

ou através de:

$$R_k = R_{km} \times L \quad (5.12)$$

Em que:

R_k - resistência do condutor (Ω)

R_{km} - resistência do condutor por km - obtido em tabelas de fabricantes (Ω/km)

L - comprimento do condutor (m)

A soma da R_{fase} e da R_{neutro} (denominador da expressão (5.10)) está multiplicada por 1,5 porque na situação de curto-circuito a ocorre um aumento rápido na temperatura da alma condutora dos condutores que se traduz ao considerar a temperatura de 145°C. Em resultado deste aumento, os valores de R_{fase} e da R_{neutro} têm de ser corrigidos para a temperatura de 145°C [301] usando a expressão:

$$R_\theta = R_{\theta_{ref}} \times [1 + \alpha \times (\theta - \theta_{ref})] \quad (5.13)$$

Em que:

- α - coeficiente de termorresistividade do material da alma condutora ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- R_{θ} - resistência do condutor para a temperatura pretendida (Ω)
- $R_{\theta_{\text{ref}}}$ - resistência do condutor a uma temperatura de referência, usualmente a 20°C (Ω)
- θ_{ref} - temperatura de referência, usualmente de 20°C (Ω)
- θ_t - temperatura pretendida

Usando a temperatura pretendida (θ_t) de 145°C e a $\theta_{\text{ref}} = 20^{\circ}\text{C}$, então $1 + 0,0039 \times (145 - 20) \approx 1,5$, o que justifica o valor de 1,5 na expressão (4.10), correspondendo à correção do valor das resistências de 20°C para 145°C .

A expressão (5.10) apresentada para o cálculo de $I_{cc_{\min}}$ resulta da simplificação da expressão exata [302], uma vez que na distribuição em baixa tensão, em geral a resistência dos condutores é bastante superior à respetiva reatância [302], pelo que a reatância pode ser desprezada. Segundo [302], as aproximações e simplificações usadas na expressão (5.10) não comprometem a segurança dos resultados, mas simplificam e facilitam o cálculo de $I_{cc_{\min}}$. Mas, a soma da $R_{\text{fase}} + R_{\text{neutro}}$ deve incluir também os condutores a montante do defeito e deve ser multiplicada por 1,15 para 150mm^2 ; por 1,20 para 185mm^2 ; por 1,25 para 240mm^2 e por 1,30 para 300mm^2 [297], pois para estas secções é necessário ter em conta o efeito da reatância.

Após o cálculo da corrente $I_{cc_{\min}}$ é necessário calcular quanto tempo esta corrente vai ser suportada pelo condutor sem causar a fadiga térmica do seu isolamento. O cálculo do tempo de fadiga térmica (Tft) do condutor é feito usando a expressão (4.14), sendo que a constante K depende da composição do condutor e que está tabelada nas RTIEBT [269]. Nesta expressão, o numerador representa a energia máxima admissível para o condutor [241].

$$T_{ft} = \frac{K^2 \times S^2}{I_{cc_{\min}}^2} \quad (5.14)$$

Em que:

- K - constante que traduz a constituição do condutor segundo as RTIEBT
- Tft - tempo de fadiga térmica do condutor (s)
- $I_{cc_{\min}}$ - corrente de curto-circuito mínima (A)
- S - secção do condutor (mm^2) - a secção que deve ser usada será a do condutor de neutro, pois este ou é igual à fase, ou será menor que a fase, logo será o condutor com menor Tft (situação de pior caso)

O Tft (tempo que o condutor vai suportar a corrente $I_{cc_{\min}}$ sem se deteriorar) depende das características do condutor, do valor da secção e da corrente $I_{cc_{\min}}$. Para evitar que o sobreaquecimento do condutor danifique o seu isolamento e possa dar origem a um potencial foco de incêndio, o dispositivo de proteção terá de abrir o circuito antes que se atinga o Tft.

Deste modo, do ponto de vista do tempo de atuação e para garantir a proteção na situação de curto-circuito, é necessário que o tempo de atuação (T_a) do dispositivo de proteção para a corrente de $I_{cc_{min}}$, seja menor que o T_{ft} e que 5 segundos [269] [297]:

$$t_a < T_{ft} \text{ e } t_a < 5s \quad (5.15)$$

Em que:

t_a - tempo de atuação do dispositivo de proteção (s)

T_{ft} - tempo de fadiga térmica do condutor (s)

De acordo com as RTIEBT: “O poder de corte não deve ser inferior à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo for instalado (...)” [269], pelo que é necessário calcular a corrente máxima previsível de curto-circuito ($I_{cc_{máx}}$) e garantir que esta é menor que o poder de corte (corrente máxima que o equipamento é capaz de interromper em boas condições de funcionamento) do equipamento de proteção a usar.

A corrente $I_{cc_{máx}}$ ocorre quando o curto circuito (fase-fase ou fase-neutro se o circuito for monofásico) ocorre próximo dos terminais do equipamento de proteção, pelo que “é limitada pela impedância interna da máquina (gerador), valor complexo e variável com o tempo, e pela impedância existente entre a máquina (gerador) e a falta” [293]. Os condutores a jusante do defeito não terão influência no valor da $I_{cc_{máx}}$, porque não fazem parte do circuito de defeito. Para um defeito entre fases (considerando um sistema trifásico), o valor (eficaz) da corrente $I_{cc_{máx}}$ será dado por [297]:

$$I_{cc_{máx}} = \frac{1,05.V_c}{\sqrt{3}.Z_{cc}} \quad (5.16)$$

Em que:

$I_{cc_{máx}}$ - corrente máxima de curto-circuito previsível (A)

V_c - Tensão nominal composta (V)

Z_{cc} - módulo da impedância do circuito de defeito (Ω)

Como a tensão aos terminais de um transformador em vazio é usualmente 3 a 5% superior ao valor em carga [297] [299], na expressão (5.16) a tensão é multiplicada por 1,05.

A impedância do circuito de defeito (Z_{cc}) é calculada tendo em conta a soma das resistências e reatâncias do circuito de defeito:

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad (5.17)$$

Em que:

Z_{cc} - módulo da impedância do circuito de defeito (Ω)

R - resistência de cada um dos elementos do circuito de defeito (Ω)

X - reatância de cada um dos elementos do circuito de defeito (Ω)

Tendo em conta que para a maior parte dos casos as instalações são complexas e há um desconhecimento de muitos dos parâmetros necessários ao cálculo exato da corrente de curto circuito, é necessário fazer a “simplificação do circuito, de modo que possa ser aplicada diretamente uma equação básica.” pois, “Normalmente, nas instalações de baixa tensão, é desnecessária uma grande precisão e são usados processos aproximados que envolvem diversas hipóteses simplificadoras” [293]. Assim, em baixa tensão despreza-se a resistência da rede e do transformador, pelo que se considera a aproximação de que $Z_{cc} \approx X_{cc}$, considerando que os valores das componentes resistivas são desprezáveis face às respetivas reatâncias [297], resultando em [293]:

$$I_{cc_{\max}} = \frac{1,05.V_c}{\sqrt{3} \times (X_{rede} + X_{transf} + Z_k)} \text{ se o curto-circuito for trifásico} \quad (5.18)$$

$$I_{cc_{\max}} = \frac{1,05.V_c}{2(X_{rede} + X_{transf} + Z_k)} \text{ se o curto-circuito for bifásico} \quad (5.19)$$

$$I_{cc_{\max}} = \frac{1,05.V_c}{\sqrt{3} \times (X_{rede} + X_{transf} + Z_k + Z_{neutro})} \text{ se for fase-neutro} \quad (5.20)$$

Em que:

V_c - Tensão nominal composta (V)

X_{rede} - reatância da rede a montante (Ω)

X_{transf} - reatância interna do transformador (Ω)

Z_k - impedância dos condutores de fase desde o transformador até ao ponto do defeito (Ω)

Z_{neutro} - impedância do condutor de neutro desde o transformador até ao ponto do defeito (Ω)

A reatância da rede a montante (X_{rede}) é calculada com base na potência de curto-circuito no ponto de interligação da instalação à rede de distribuição [297]:

$$X_{rede} = \frac{1,05.V_c^2}{S_{cc}} \quad (5.21)$$

Em que:

V_c - Tensão nominal composta (V)

X_{rede} - reatância da rede a montante (Ω)

S_{cc} - potência de curto circuito no ponto de interligação da instalação à rede de distribuição (VA)

Para calcular a reatância interna do transformador (X_{transf}) usa-se a tensão de curto-circuito do transformador ($v\%$) que é a tensão que deve ser aplicada ao primário para se obter a corrente nominal no secundário, quando este está em curto-circuito [297]. Os valores de $v\%$ são estabelecidos pela norma HD 428-1S1, e esta tensão consta dos dados do transformador:

$$X_{transf} = \frac{v\%}{100} \times \frac{1,05.V_c^2}{S_n} \quad (5.22)$$

Em que:

V_c - Tensão nominal composta (V)

$v\%$ - tensão de curto-circuito do transformador (%)

X_{transf} - reatância interna do transformador (Ω)

S_n - potência nominal do transformador (VA)

A aproximação de que impedância interna do transformador (Z_{transf}) é aproximadamente igual à sua reactância interna (X_{transf}) pode ser usada para o cálculo $I_{cc_{m\acute{a}x}}$ [297], ou pode-se calcular a componente resistiva (R_{transf}) da impedância do transformador se se conhecer as perdas de Joule nos enrolamentos do transformador.

O cálculo da impedância dos condutores (Z_k) pode ser feito através do cálculo da sua resistência (R_k) através das expressões (5.11) ou (5.12); e da sua reatância (X_k) usando a expressão:

$$X_k = X_{km} \times L \quad (5.23)$$

Em que:

X_k - reatância do condutor (Ω)

X_{km} - reatância do condutor por km - lido em tabelas dos fabricantes (Ω/km)

L - comprimento do condutor (m)

As expressões (5.18), (5.19) ou (5.20) permitem fazer o cálculo de $I_{cc_{m\acute{a}x}}$, obtendo-se o valor eficaz da corrente. No entanto, o valor máximo instantâneo que o dispositivo de proteção poderá ter de interromper será o respetivo valor de pico que se tem que calcular. O valor instantâneo máximo da corrente de curto-circuito ($I_{maxpico}$) é obtido a partir da expressão [297]:

$$I_{\text{máxpico}} = k \cdot \sqrt{2} I_{\text{CCmáx}} \quad (5.24)$$

Em que:

$I_{\text{CCmáx}}$ - valor eficaz da corrente de curto-circuito (A)

$I_{\text{máxpico}}$ - valor de pico da corrente máxima de curto-circuito (A)

k - constante que, de acordo com a norma IEC 60909, pode tomar o valor mínimo de 1,05 e o máximo de 2 (pior caso)

Do ponto de vista da segurança das instalações elétricas, o pior caso corresponde à situação em que há uma componente contínua tal que $k=2$, pelo que este será o valor considerado no cálculo de $I_{\text{máxpico}}$:

$$I_{\text{máxpico}} = \sqrt{2} \times 2 \times I_{\text{CCmáx}} \quad (5.25)$$

Em que:

$I_{\text{CCmáx}}$ - valor eficaz da corrente de curto-circuito (A)

$I_{\text{máxpico}}$ - valor de pico da corrente de curto-circuito (A)

Para avaliar se o dispositivo de proteção tem poder de corte estipulado (corrente máxima que o equipamento de proteção é capaz de interromper em boas condições de funcionamento, designado por P_{dc}) adequado, este terá de verificar a condição (5.26). Se esta condição não for satisfeita será necessário escolher um equipamento com um poder de corte superior.

$$P_{\text{dc}} \geq I_{\text{máxpico}} \quad (5.26)$$

Em que:

P_{dc} - Poder de corte do dispositivo de proteção (A)

$I_{\text{máxpico}}$ - valor de pico da corrente máxima de curto-circuito (A)

A tabela 5.1 sintetiza as condições a cumprir para minimizar a possibilidade de ocorrência de situações em que a instalação elétrica seja a origem de focos de incêndio (por sobreaquecimento devido a correntes normais ou de defeito).

Tabela 5.1 - síntese das condições segundo as RTIEBT para garantia de condições mínimas de segurança da própria instalação.

Critério de aquecimento:	$I_{\text{Zreal}} \geq I_{\text{B}}$
Proteção face a sobrecargas:	$I_{\text{B}} \leq I_{\text{n}} \leq I_{\text{Zreal}} \quad I_{\text{Z}} \leq 1,45 \times I_{\text{Zreal}}$
Proteção face a curto-circuito:	Tempo de atuação: $t_{\text{a}} \leq T_{\text{ft}}$ e $t_{\text{a}} \leq 5\text{s}$
	Poder de corte: $P_{\text{dc}} \geq I_{\text{máxpico}}$

É também importante considerar que, como os cálculos exatos seriam muito complexos e inviáveis (porque dependem de muitos fatores que não são conhecidos), os cálculos são aproximados [293]. Perante tal, é imprescindível reconhecer com humildade que nunca se consegue prever e prevenir todas as hipóteses possíveis, pelo que podem acontecer situações que não foram previstas na fase de projeto/cálculo. Este facto reforça a importância do cumprimento de todas as imposições técnicas e legais e boas práticas, que, apesar de não protegerem em todas as hipóteses possíveis, são extremamente importantes para a garantia dos mínimos de segurança para a maioria das situações práticas.

As condições atrás referidas (Critério de Aquecimento e dimensionamento contra sobreintensidades) focam-se nos mínimos da segurança da instalação, mas não são suficientes para garantir o bom funcionamento da instalação. Um dos aspetos importantes para o bom funcionamento da instalação é a garantia dos níveis de tensão mínimos legais em cada carga, o que será obtido pela aplicação do Critério da Queda de Tensão. A aplicação deste critério interfere com o dimensionamento da secção dos condutores e por isso é incluído neste documento.

O Critério da Queda de Tensão tem por objetivo garantir que todas as cargas são alimentadas por uma tensão igual ou superior ao mínimo indicado pela legislação [269] [303]. Para isso, é necessário calcular a queda de tensão previsível (ΔV) ao longo dos condutores, desde o ponto inicial da instalação até a cada carga. O seu cálculo por fase pode ser feito de forma aproximada usando a expressão (5.27):

$$\Delta V \cong \sum(Rt \times I_a) + \sum(X \times I_r) \quad (5.27)$$

Em que:

ΔV - queda de tensão ao longo dos condutores (V)

Rt - resistência de cada condutor (para a temperatura da alma condutora em regime permanente) (Ω)

X - reatância de cada condutor (Ω)

I_a - componente ativa da corrente I_b (A)

I_r - componente reativa da corrente I_b (A)

O cálculo do valor da resistência para cada condutor pode ser feito usando as expressões (5.11) ou (5.12) para calcular o valor para uma temperatura de referência (usualmente $\theta_{ref}=20^\circ\text{C}$), e depois sendo corrigido para a temperatura da alma condutora para a situação de regime permanente (usando a expressão (5.13)). Por simplificação, considera-se que a temperatura será a máxima permitida em regime permanente para cada tipo de isolamento: 70°C para PVC e 90°C para XLPE [269]. A expressão (5.13) é usada para o cálculo da resistência Rt em função do valor da temperatura pretendida (θ) de acordo com o isolamento do condutor (PVC ou XLPE).

O cálculo dos valores de I_a e de I_r pode ser feito a partir do valor de I_B , uma vez que I_a corresponde à parte real de I_B e I_r corresponde à parte imaginária de I_B ($I_B = I_a - jI_r$). Pode-se verificar se a tensão em cada carga (ponto extremo da instalação) cumpre os valores mínimos definidos na legislação de várias formas. No presente estudo usa-se a comparação do valor obtido em (5.27) em volts com o valor máximo admissível para a queda de tensão ($\Delta V_{\text{máx.adm}}$) também em volts. Tendo em conta que usualmente o valor definido na legislação é em %, o valor de $\Delta V_{\text{máx.adm}}$ deve ser calculado usando como referência 230 V (em baixa tensão). Este cálculo é semelhante para um sistema trifásico e monofásico, uma vez que se está a calcular a queda de tensão por fase. Todo este processo de verificação do Critério da Queda de Tensão está resumido na figura 5.13, evidenciando que no caso da condição $\Delta V < \Delta V_{\text{máx.adm}}$ não ser satisfeita, é necessário aumentar a secção (para a imediatamente superior normalizada) e voltar a refazer o processo até que a condição se cumpra. Tal evidência que este critério pode alterar o valor da secção escolhida.

A figura 5.14 sintetiza o processo de dimensionamento da secção de um condutor tendo em conta as RTIEBT. O processo foca-se em questões de segurança, calculando o valor mínimo da secção normalizada que cumpre o conjunto das condições impostas por questões técnicas e regulamentares, pelo que a designaremos por secção mínima técnica ($S_{\text{técnica}}$). O cálculo desta secção também garante o mínimo económico para o investimento de implementação da instalação, uma vez que os custos dos condutores aumentam com a secção, para o mesmo tipo de condutor e comprimento.

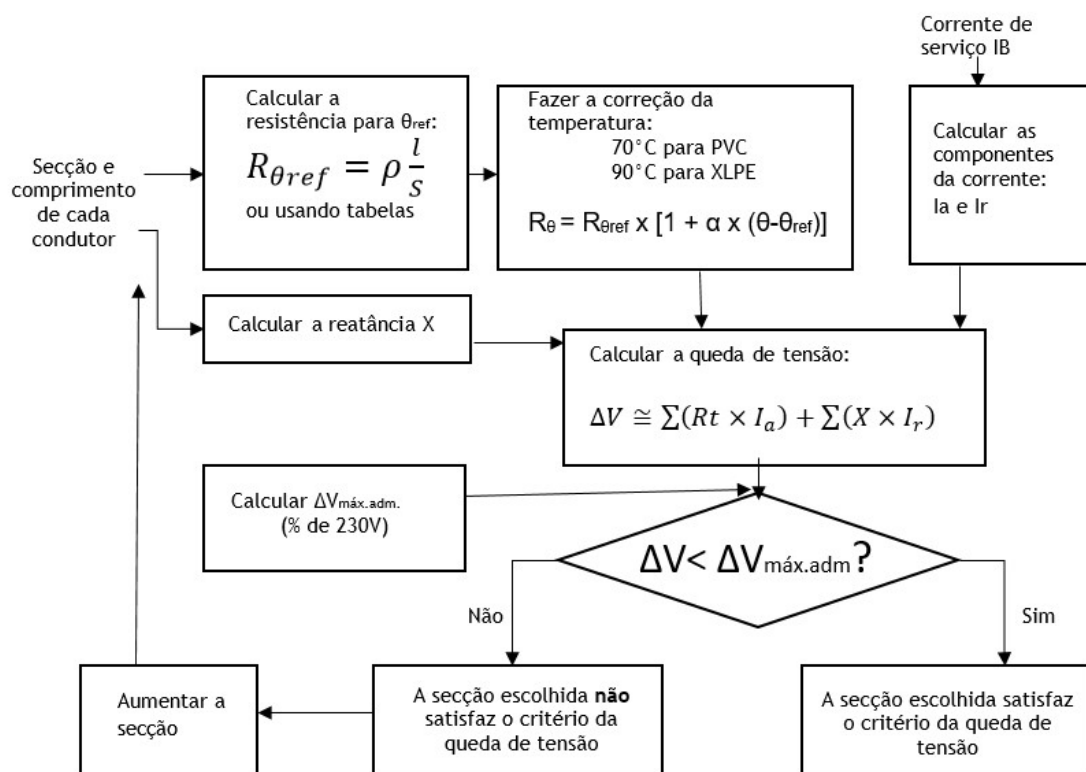


Figura 5.13 - Esquematização do processo de verificação do critério da queda de tensão.

Nas diferentes perspectivas éticas consideradas no presente subcapítulo, em nenhuma se coloca a hipótese de não cumprimento das condições mínimas de segurança definidas na legislação, uma vez que isso poria em causa a segurança da instalação e, por consequência, das pessoas; e porque isso violaria os princípios éticos e deontológicos a que os profissionais da engenharia estão obrigados [17] [18]. Assim, qualquer outra hipótese que se coloque de seguida, terá de cumprir as condições resumidas na figura 5.14. Contudo, ao definir-se o mínimo técnico para a secção ($S_{\text{técnica}}$), fica a hipótese de poder aumentar a secção.

Outra questão que se coloca nesta análise é que o mínimo é obtido em função das secções normalizadas, e não do valor exato da secção que permitiria garantir as condições resumidas na figura 5.14. Assim, há nestes pontos margem para estudos de possíveis alternativas para o dimensionamento da secção dos condutores.

A figura 5.14 mostra que o foco do dimensionamento da secção mínima técnica ($S_{\text{técnica}}$) é a segurança mínima e em nenhum ponto é tida em conta a sustentabilidade ou a eficiência do sistema: ao cumprir a legislação cumpre-se o mínimo para o sistema funcionar com segurança, mas pode não se otimizar o sistema.

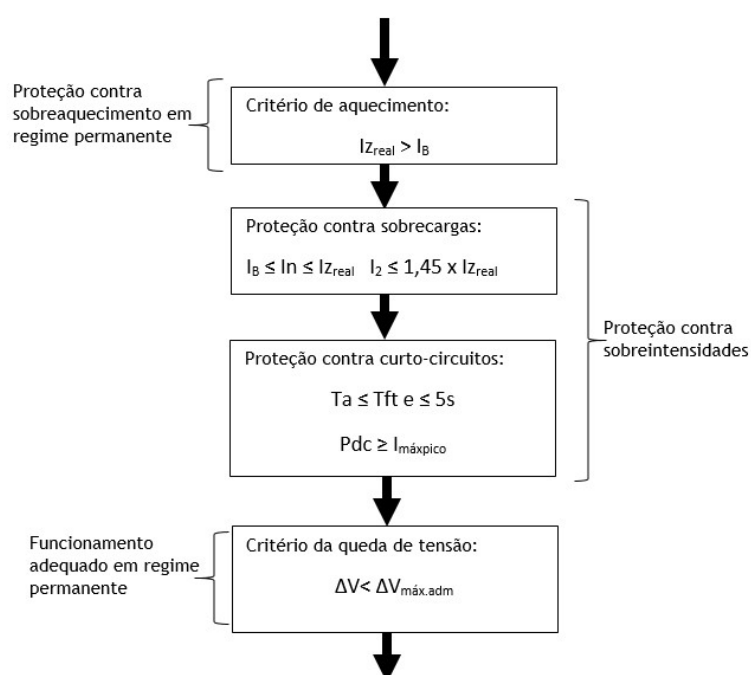


Figura 5.14 - Síntese o processo de dimensionamento da secção de um condutor tendo em conta as RTIEBT.

Problemas identificados na perspectiva deontológica:

De acordo com as RTIEBT [269], as secções dos condutores têm que ser calculadas tendo por base as condições da “temperatura máxima admissível nos condutores”, da “queda de tensão admissível” e tendo em conta as “solicitações eletromecânicas suscetíveis de se produzirem em caso de curto-circuito”, tal como está definido na tabela 5.1 e na figura 5.14. Contudo, as

RTIEBT referem também que “estas condições atendem, apenas, aos aspetos de segurança das instalações elétricas, podendo ser necessário usar secções superiores às exigidas pela segurança por outras razões (por exemplo, de natureza económica)” [269]. Tal significa que pode haver outras secções que cumpram os critérios de segurança, mas melhorem também outros aspetos que não são considerados nas RTIEBT.

5.3.1.2 - Método de cálculo segundo uma perspetiva económica de curto prazo

Ao focar o dimensionamento das instalações elétricas numa perspetiva económica de curto prazo, o mais importante é reduzir o custo de investimento em materiais e equipamentos para a implementação prática da instalação. Tendo em conta a área em estudo (dimensionamento da secção dos condutores), isto traduz-se pela minimização do custo dos condutores, o que pode ocorrer por via da redução da secção ou alteração do tipo e constituição do condutor a usar. Uma vez que no presente estudo não é considerado aceitável o incumprimento das condições de segurança da instalação, a redução dos custos de investimento terá de ser obtida mantendo as condições de segurança.

O dimensionamento feito com foco na perspetiva deontológica também pode ser considerado como um dimensionamento numa perspetiva económica de curto prazo, uma vez que a secção final escolhida é a mínima técnica e por isso se traduz no mínimo investimento aquando da implementação da instalação (curto prazo). Nas condições atualmente definidas na legislação portuguesa, a secção obtida é a mínima que cumpre os critérios de segurança, pelo que é a que também minimiza o custo de investimento.

Parise *et al.* [304] identificaram vários aspetos do método descrito na figura 5.14 (dimensionamento feito com foco na perspetiva deontológica) que, nas suas perspetivas, e numa perspetiva económica e ética [241] [281], deviam ser otimizados, nomeadamente:

- O dimensionamento é feito com base na corrente máxima prevista para o condutor, sendo que esse valor não é permanente para a maioria das instalações, havendo assim um sobredimensionamento da secção
- No final do processo, frequentemente há uma grande diferença entre o valor do I_b e do I_z , o que resulta numa baixa densidade de corrente (corrente/área da secção), o que corresponde à ineficiência da instalação
- A baixa densidade de corrente traduz-se num desperdício de recursos, especialmente de cobre (considerando a hipótese de o condutor ser de cobre)
- O desperdício de recursos (especialmente de cobre) traduz-se em desperdício económico e num maior impacto ambiental (menor sustentabilidade ambiental e económica).

Parise [241] defende que os direitos éticos no domínio da energia elétrica incluem: “Right to convenient and sustainable innovations (...) Right to have efficiency, efficacy, convenience, quality of service, flexibility and expandability of electrical systems; Right to have a micro approach in designing the local microgrids, independently from the utility network (...)”. Pelo que, para Parise [304, p. 1], no dimensionamento de instalações elétricas deve-se aplicar um “general criterion of designing power distributions is to structure the system based on a micro system approach that has to facilitate and coordinate the implementation of smaller sizes of components, energy and costs saving”. Tal levou os autores a defenderem o “In-Op design” que recomendam para o dimensionamento das instalações elétricas (em baixa tensão) industriais, comerciais, de serviços e residenciais. Este método (In-Op design) deve cumprir todas as garantias de segurança, e deve evitar ineficiências energéticas da instalação, o que se vai traduzir em menores custos. Assim, o principal objetivo deste método é “promoting a high efficiency of power cables especially of branch circuits, by sizing the conductors with a high steady current density” [304, p. 2]. Para que este objetivo seja alcançado é necessário que na condição (5.1) I_B seja o mais próximo possível de I_z , sendo no ideal $I_B = I_z$ pois a densidade de corrente no condutor é a máxima permitida. No entanto, aumentar a densidade de corrente reduz o tempo de vida do condutor, pelo que [304] acrescentaram o objetivo de simultaneamente “avoiding an excessive gap on lifetime of the components”.

Os problemas, identificados por [304] no modelo descrito para a perspetiva deontológica, levaram os autores a concluir que é importante aumentar a densidade de corrente nos condutores usados nas instalações elétricas, permitindo aumentar a eficiência na utilização do cobre. Tal vai permitir diminuir o cobre (recursos) a usar, o que diminui os custos de investimento e, segundo os autores, aumenta a sustentabilidade. O que estes autores constataram é que para aumentar a densidade de corrente, reduzir o custo de investimento e aumentar a eficiência no uso dos recursos é necessário diminuir a margem entre o valor de I_B e I_z . Tal tem que ser conseguido sem violar as condições de segurança.

Para tal, usando o método “micro system approach” [304], o cálculo da secção deverá ser feito partindo das expressões:

- $I_B = 0,8 \cdot I_z$ (onde 0,8 é um fator de segurança segundo as indicações da International Electrotechnical Commission)
- $I_z = a \cdot (S_k)^b$ [241], em que a é a capacidade de condução de corrente de 1 mm² de secção (usualmente 15 A) e b é usualmente 0,625
- Considerando I_{cc} como a corrente de curto-circuito previsível, as expressões (5.14) e (5.15) vão-se traduzir no limite em:

$$S_k = \frac{I_{cc}}{\frac{K}{\sqrt{ta}}} \quad (5.28)$$

Em que:

S_k - secção mínima capaz de suportar a corrente de curto-circuito I_{cc}

K - constante que depende dos materiais que constituem o condutor

ta - tempo de atuação do equipamento de proteção contra sobreintensidades

Considerando estas expressões, obtém-se:

$$I_B = 0,8. a \left(\frac{I_{cc}}{K} \right)^b \quad (5.29)$$

Assim, partindo de I_{cc} , do tipo de materiais do condutor (que definem a , b e K) e do tempo de atuação do fusível ou disjuntor (t_a), é calculado o valor da secção mínima S_k e com este calcula-se I_B (que permite calcular o valor de I_z).

Como o valor do S_k que se obtém não é normalizado, é necessário recorrer à escolha da secção igual ou superior normalizada. Como a escolha das secções é feita com base na lista das secções normalizadas para baixa tensão (atualmente pré-definidas: 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300 mm²), o espaçamento entre as secções conduz a sobredimensionamentos que tecnicamente não seriam necessários de houvessem mais secções intermédias [304].

Parise et al. [304] defendem a criação de secções intermédias, para permitir ajustar o mais possível I_B a I_z sem deixar de cumprir o critério de aquecimento e restantes condições de segurança. Nesta linha, propõem a produção de secções de valor intermédio: (3; 5; 8; 12; 20; 32 mm²) para além das secções normalizadas atuais (1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16mm²). Tal permitiria escolher uma secção menor, pois, por exemplo, se 10 mm² não eram suficientes para cumprir os critérios técnicos, poder-se-ia escolher 12 mm² (se esta secção fosse normalizada e satisfizesse as condições técnicas) em vez da escolha de 16 mm² segundo os atuais valores normalizados. Neste exemplo ter-se-ia uma redução do cobre usado, e respetiva redução do custo de investimento. Também se teria um aumento da densidade de corrente, uma vez que para a mesma corrente se usaria uma secção menor, logo uma maior eficiência no uso do recurso cobre.

Nesta perspetiva, é desejável projetar equipamentos o mais micro possível, promovendo o uso do “critério dos microssistemas” [305]. Parise [241] considera que tal é um direito ético: “A design criterion of electrical distributions is to structure the system based on a micro system approach that has to facilitate and coordinate the implementation of smaller sizes of components, energy and costs saving, independent distributions for the diverse load categories”.

Para além de defender a criação de secções intermédias, o artigo [304] considera inadequado que se dimensione a secção com base no valor máximo da corrente. Indicam que o valor médio da corrente que se espera que vá percorrer o condutor é mais adequado para o dimensionamento, uma vez que só há consumo do valor máximo durante um curto período de tempo.

Problemas identificados na perspectiva económica de curto prazo:

Neste ponto é importante referir que o cálculo do valor de I_B para ser usado no método descrito na perspectiva deontológica pode não corresponder ao valor máximo previsível. De facto, após o cálculo do valor da corrente consumida pelas cargas (com base na potência de cada carga), está previsto o uso de 3 fatores que podem fazer reduzir o seu valor: o fator de utilização (que é ≤ 1) que traduz a percentagem da potência que será usada na prática; o fator de simultaneidade (que é ≤ 1), que reflete a probabilidade de um conjunto de cargas consumir a máxima corrente em simultâneo; e o fator de evolução (que é ≥ 1) que estima um aumento da carga a curto ou médio prazo. Os fatores de utilização e de simultaneidade podem reduzir de forma muito relevante o valor da corrente I_B a usar para o dimensionamento, não correspondendo ao somatório do valor máximo das cargas. Como exemplo, refere-se que num circuito com 6 tomadas, a corrente que será usada para o dimensionamento resultará da corrente máxima prevista (somatório) a multiplicar por um fator de simultaneidade de $0,1 + (0,9 / \text{número de tomadas}) = 0,25$; pelo que a corrente I_B será apenas de 25% da corrente máxima prevista (somatório de todas as cargas). No caso do método proposto por [304] não é claro se estes fatores são ou não considerados na análise. Também não é claro como é que se estima o valor médio de I_B quando não há a previsão do funcionamento das cargas (do diagrama de cargas). Acresce que, se a diferença entre I_B e o valor médio da corrente for elevada, e se o condutor estiver dimensionado para o valor médio da corrente, sempre que a corrente toma o valor I_B o condutor estará em sobrecarga. Deste modo, aumenta-se a ocorrência de situações de sobrecarga, o que não é desejável, pois situações de sobrecarga ou de curto-circuito podem dar origem a potenciais focos de sobreaquecimento e consequentes focos de incêndio.

Por outro lado, a proposta do método de cálculo partindo da corrente I_{cc} não explica como é que essa corrente se calcula. Tendo em conta as expressões usadas e o uso do tempo de atuação do equipamento de proteção, a corrente I_{cc} corresponde à corrente $I_{cc_{min}}$ definida no método associado à perspectiva deontológica, pelo que a corrente é calculada usando a expressão (5.10). O problema que se identifica é que para calcular o $I_{cc_{min}}$ (ou I_{cc}) se precisa do valor da secção do condutor, uma vez que a impedância do condutor vai contribuir para reduzir o valor do $I_{cc_{min}}$. Este problema não é abordado por [304], que partem de valores pré-definidos de I_k .

Um dos aspetos defendidos por [304] é a vantagem da sua proposta ser mais ecológica por diminuir o uso de cobre. Contudo, o tempo de vida dos condutores depende da temperatura de funcionamento do condutor; o que depende da diferença entre o I_B e o I_z . Assim, ao diminuir essa diferença, está-se a aumentar a temperatura de funcionamento do condutor, o que reduz o seu tempo de vida útil. Tal poderá ter impactos no uso de recursos, uma vez que, se a instalação tiver uma vida útil prevista maior do que a vida útil do condutor, ter-se-á de substituir o condutor durante o tempo de vida da instalação; o que acarreta custos de investimento adicionais e mais uso de cobre. Assim, é claro que numa perspectiva económica

de curto prazo reduzir o uso de cobre se traduz numa diminuição dos custos de investimento; mas não é claro que reduzir o uso de cobre se possa traduzir numa poupança económica ou na redução do uso de cobre a longo prazo.

Para que o método proposto por [304] seja viável é necessário que as secções intermédias que propõem sejam adotadas e produzidas em larga escala de modo a que o seu custo seja proporcional ao das secções normalizadas atualmente disponíveis no mercado. Caso contrário, a sua produção é excessivamente cara, pelo que não haveria nenhuma vantagem económica no seu uso num projeto.

5.3.1.3 - Método de cálculo segundo uma perspetiva ambientalista

Dimensionar a secção dos condutores eléctricos tendo uma perspetiva ambientalista significa considerar que o mais importante é minimizar o impacto no meio ambiente. De qualquer modo, não se coloca a hipótese de não se cumprirem os critérios mínimos de segurança definidos pela legislação aplicável.

Nas instalações eléctricas, contribuir para diminuir o impacto ambiental envolve duas vertentes: reduzir o consumo de energia eléctrica, nomeadamente pela redução das perdas; e reduzir a pegada ecológica dos componentes das instalações eléctricas considerando todo o seu ciclo de vida (do “berço à cova”), isto é, desde a extração dos recursos naturais até ao seu descarte no final de vida.

O primeiro passo nesta perspetiva é identificar quais os principais aspetos associados ao dimensionamento das secções dos condutores que têm impacto no meio-ambiente [290]:

- Extração e uso de recursos para a fabricação do condutor: alma condutora, isolamento, bainhas, energia, água, etc. Estes impactos dependem do tipo e constituição do condutor: quando mais simples o condutor for, menor será o impacto; quanto menor a secção, também será menor o impacto ambiental; quanto mais próxima for a extração, menor serão os impactos;
- Poluição produzida durante a fabricação do condutor: depende do tipo de condutor e da secção, supondo-se que quanto maior é a secção, maior é a respetiva poluição;
- Poluição causada após descarte do condutor (fim de vida): quanto maior a secção, maior é a poluição causada (parte da alma condutora poderá ser reciclada);
- Poluição causada pela produção suplementar de energia devido às perdas de Joule que ocorrem no condutor ao longo do tempo de vida e utilização da instalação. As perdas aumentam, logo aumenta a poluição, com a diminuição da secção tendo em conta que as perdas de Joule são diretamente proporcionais à resistência do condutor (num sistema trifásico equilibrado será $P=3.R.I_b^2$) e inversamente proporcionais à secção (ver expressão (5.11)).

Do descrito pode-se identificar a existência de um conflito [290], pois para minimizar os impactos ambientais é necessário:

- minimizar a secção a usar para minimizar a extração, fabricação e uso de cobre;
- mas, é necessário maximizar a secção para minimizar as perdas de Joule, logo minimizar o respetivo impacto ambiental.

Do ponto de vista da minimização da secção, a limitação será definida pela secção mínima técnica definida pelas condições da tabela 5.1 que são impostas pela legislação em vigor (RTIEBT). Mas, o objetivo de maximizar a secção (para minimizar as perdas) será limitado apenas pelo peso relativo da condição antagónica de minimizar a secção para minimização do uso de recursos.

Uma vez que estão em causa tipos diferentes de impactos ambientais (uso de recursos e perdas de energia elétrica), usar-se-á um indicador quantificável do impacto ambiental para facilitar os cálculos e a comparação dos impactos. Existem diferentes métodos e indicadores para avaliar a sustentabilidade e o impacto ambiental de um sistema ou produto [306] [307]. Escolheu-se usar como indicador as emissões de CO₂, pois considera-se um indicador adequado à análise de sistemas elétricos [291] [286] e é quantificável.

Para calcular o valor das emissões devido à fabricação dos condutores é necessário ter em conta que as “principais matérias-primas utilizadas são o cobre e o alumínio para o fabrico dos condutores e as matérias plásticas, o polietileno (reticulado ou não) e o PVC para o fabrico das bainhas, isolamentos e revestimentos” [308]. As emissões de todas estas matérias-primas e dos processos associados a cada uma (nomeadamente a extração, transporte, processamento, fabrico, transporte e descarte no final de vida) devem ser contabilizadas para calcular as emissões globais do fabrico dos condutores. O seu cálculo deve seguir os procedimentos da Avaliação do Ciclo de Vida [49], apesar de não ser fácil encontrar todos os dados necessários para o cálculo.

Para determinar o impacto ambiental (medido em emissões de CO₂) devido ao fabrico de condutores elétricos em Portugal, consideraram-se os dados de [308], nomeadamente o Consumo Específico (CE) do sector, cujo valor de referência foi de 109,30 kgep/t para o ano de 2019. Esta componente só tem em conta o fabrico e não inclui as emissões de CO₂ devidas à extração dos recursos, ao transporte nem ao descarte final.

Para converter 109,30 kgep/t usou-se a referência de [309] em que 1 kgep=10 Mcal e 1 kWh=0,86 Mcal, obtendo-se 1270,93 kWh/t que é igual a 1,27 kWh/kg (são necessários 1,27 kWh para produzir 1 kg de produto final (cabos elétricos), em média). Este consumo pode ser convertido em emissões de CO₂ usando o fator de referência das emissões de CO₂ associadas com a produção de energia elétrica em Portugal é de 0,208 kgCO₂e/kWh tendo por base a média de 2018 a 2022 [310]. Tal é adequado porque cerca de 90% das emissões associadas com a produção de cabos se devem ao consumo de energia elétrica [308], pelo que se pode usar este fator de conversão para o fabrico de cabos. Resulta que as emissões devidas ao fabrico de

condutores é de cerca de 0,2647 kgCO₂e/kg de condutores produzidos. Este valor é genérico para condutores de cobre ou de alumínio.

Para estimar as emissões de CO₂ devidas à extração dos recursos naturais, usou-se o exemplo do cobre, uma vez que é o mais usado em instalações elétricas de baixa tensão. Segundo [286] a extração e produção de cátodo de cobre eletrolítico realizada no Chile, que é o país do mundo com maior produção de cobre, é de 4,09 kgCO₂e/kg-Cu.

O transporte do cobre, considerando a hipótese de ter origem no Chile, implica um transporte (suponho marítimo, via Panamá) de cerca de 14434 km. Considerando que 1 nmi (nautical mile) = 1.852 km, obtém-se 7794 nmi. Considerando que as emissões pelo transporte marítimo é de 372,40 kgCO₂/nmi [311], obtém-se 2902326,53 kgCO₂ para um transporte do Chile para Lisboa. Considerando que um navio cargueiro pode transportar 8000 t [312], obtém-se 362,8 kgCO₂e/t, o que corresponde a 0,3628 kgCO₂e/kg.

Somando a componente de extração (considerando a extração ocorrer no Chile), e de transporte, obtém-se as emissões totais de cerca de 4,72 kgCO₂e/kg. Este cálculo tem o erro de só estar a considerar o cobre, faltando ter em conta o isolamento. O cálculo não contabiliza as emissões da fase de descarte uma vez que se considera que quase todo o cobre será reciclado (mas, atualmente só cerca de 43% do cobre usado na União Europeia resultam da reciclagem [313]).

Considerando a hipótese de o tempo de vida do condutor ser maior ou igual ao tempo de vida da instalação, não haverá necessidade de substituição do condutor logo o número de substituições necessárias (Ns) é 1. Se o tempo de vida do condutor for menor que o expectável para a instalação, então deverá ser contabilizado o número de substituições necessárias (Ns = número inteiro imediatamente superior ao valor obtido pela divisão do tempo de vida da instalação pelo tempo de vida do condutor).

Para calcular as emissões de CO₂ de um sistema trifásico, devidas ao fabrico dos condutores, devem ser considerados 3 condutores (um para cada fase), o condutor de neutro e o condutor de proteção. Se a ordem de grandeza da secção em estudo for até 16 mm², todos os condutores têm a mesma secção, pelo que o número de condutores (Nc) será de 5. Se a secção for superior a 16 mm², considera-se que o condutor de neutro e de proteção têm uma secção de aproximadamente metade da secção da fase, estimando-se que isso corresponde a cerca de metade do peso da fase, pelo que o número de condutores é aproximadamente equivalente a 4. Note-se que se o esquema de terras da instalação for TN-C, então o condutor de neutro e de proteção são o mesmo [269], pelo que são aproximadamente 3,5 condutores no total.

Se o sistema for monofásico, o número de condutores (Nc) será de 2,5; correspondendo ao condutor de fase e ao condutor de retorno, e ao condutor de proteção com secção de aproximadamente metade da fase.

As emissões devidas ao fabrico dos condutores serão de [286]:

$$E_p = N_s \cdot N_c \cdot W_c \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p \quad (5.30)$$

Em que:

E_p - emissões de CO₂ devido ao fabrico do condutor (KgCO₂e)

W_c - peso do condutor por unidade de comprimento (kg/km)

L - comprimento do condutor (m)

K_p - referência das emissões de CO₂ que ocorrem na produção do condutor/cobre para o país em análise (kgCO₂ e/ kg-Cu)

N_s - número (inteiro) de substituições necessárias do condutor ao longo do tempo de vida da instalação

N_c - número de condutores

A expressão (5.30) permite calcular as emissões de forma aproximada, uma vez que não tem em conta as emissões devidas ao descarte do condutor no seu final de vida, nem as emissões devidas à produção do isolamento e outros componentes para além da alma condutora. Por isso, pode-se considerar que o valor real das emissões será superior ao valor de E_p .

Se o tempo de vida do condutor for menor que o da instalação, será necessário substituir o condutor, pelo que as emissões serão multiplicadas pelo número de vezes que o condutor tem que ser substituído durante o tempo de vida da instalação (N_s).

Para estimar o tempo de vida de um condutor considerando as condições de regime permanente, pode-se usar o modelo de Arrhenius [289] [314] [315]:

$$\log_{10} D(T_B) = a + \frac{b}{T_B + 273} \quad (5.31)$$

Em que:

D - tempo de vida estimado do condutor (h)

T_B - temperatura do condutor em regime permanente (T_B) para a corrente I_B (°C)

a e b - parâmetros de Arrhenius definidas em função do tipo de condutor (valores usuais apresentados na tabela 5.2)

Tabela 5.2 - Valores dos parâmetros de Arrhenius para condutores com isolamento em PVC e em EPR (fonte: [304]).

Isolamento	T_z (°C)	a	b
EPR ou XLPE	90	-11,627	6127
PVC	70	-13,194	6324,2

A expressão (5.31) permite calcular o tempo estimado de vida do condutor (dividindo por 8760h obtém-se o valor em anos) de forma aproximada, pois considera-se que a resistividade do condutor será aproximadamente a resistividade para T_z [304].

A temperatura do condutor em regime permanente depende da corrente que atravessa o condutor. Para a corrente máxima admissível (I_z) em regime permanente a temperatura obtida será a temperatura máxima recomendada em regime permanente (T_z). Numa situação em que

I_B é constante ao longo do tempo e permanente no tempo, para $I_B=I_Z$ teremos no condutor a temperatura T_Z e o tempo de vida do condutor está estimado em cerca de 20 anos [316].

Considerando a temperatura do condutor em regime permanente (T_B) para a corrente I_B , como [304]:

$$T_B - T_A \cong \frac{I_B^2}{I_Z} (T_Z - T_A) \quad (5.32)$$

Em que:

T_B - temperatura do condutor em regime permanente (T_B) para a corrente I_B (°C)

T_A - temperatura ambiente de referência (usualmente 30°C) (°C)

T_Z - temperatura máxima recomendada em regime permanente (°C)

Como as expressões (5.31) e (5.32) mostram, o tempo de vida do condutor depende da relação entre I_B e I_Z , sendo que para $I_B=I_Z$, $T_B=T_Z$ e o tempo de vida é de cerca de 20 anos. Se $I_B<I_Z$, a temperatura no condutor será menor que T_Z e por isso o tempo de vida vai aumentar: por exemplo, para um condutor de PVC em que $I_B=0,9.I_Z$ o tempo estimado de vida do condutor sobe para 52 anos; e se $I_B=0,8.I_Z$ o tempo sobe para cerca de 128 anos.

No método de cálculo segundo a perspectiva económica de curto prazo, em que se pretendia aproximar o mais possível $I_B=I_Z$, está-se também a aproximar o tempo de vida do condutor de cerca de 20 anos. Como é expectável que a maioria das instalações fixas durem mais do que 20 anos, o condutor teria de ser substituído e assim causar mais emissões de CO_2 , quer pelo seu fabrico, quer pelo descarte. Salienta-se que este aspeto entra em conflito com o princípio de que quanto menor a secção, menores as emissões de CO_2 : isso só é verdade se o tempo de vida do condutor for superior ao tempo de vida expectável para a instalação. Caso contrário, diminuir a secção leva ao aumento das emissões de CO_2 .

As emissões de CO_2 não se devem apenas ao fabrico do condutor, mas também ocorrem em resultado das perdas de Joule nos condutores ao longo do tempo de utilização da instalação, tal como já referido. As perdas de Joule (P_J) ao longo do funcionamento da instalação (período de exploração da instalação) podem ser obtidas pela expressão (para um sistema trifásico equilibrado o número de condutores ativos (N_{ca}) é de 3 e para um sistema monofásico é de 2):

$$P_J = N_{ca} \cdot R \cdot I_B^2 \quad (5.33)$$

Em que:

P_J - perdas de Joule ao longo do funcionamento da instalação (W)

R - resistência do condutor por unidade de comprimento para a temperatura média de funcionamento (Ω)

L - comprimento do condutor (m)

N - tempo de vida esperado para a instalação (em anos)

H - horas de funcionamento por ano (h/ano)

N_{ca} - número de condutores ativos

Para converter as perdas de Joule em emissões de CO₂ é necessário converter a potência em energia e calcular as emissões que a produção dessa energia causou. Porque cada país tem um índice diferente das emissões associadas à produção de energia elétrica, devido aos diferentes métodos de produção de energia elétrica adotados, é necessário usar a referência do país em estudo. Mesmo dentro do mesmo país podem ocorrer grandes variações deste indicador: por exemplo, em março de 2021 as emissões em Portugal foram de 82 gCO₂eq/kWh [317] e de janeiro a junho de 2024 foram de apenas 29,2 gCO₂eq/kWh [318]. No presente estudo usou-se o valor de referência (ke) para Portugal de 0,208 kgCO₂e/kWh tendo por base a média de 2018 a 2022 [318]. Assim, as emissões de CO₂ causadas pelas perdas de Joule no condutor é obtido por:

$$E_j = N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e \quad (5.34)$$

Em que:

E_j - emissões de CO₂ devidas às perdas de Joule durante o tempo de vida da instalação (KgCO₂)

R - resistência do condutor por unidade de comprimento para a temperatura média de funcionamento (Ω/m)

N - tempo de vida esperado para a instalação (em anos)

H - horas de funcionamento por ano (h/ano)

K_e - referência das emissões de CO₂ associadas com a produção de energia elétrica no país em análise (kgCO₂e / kWh)

N_{ca} - número de condutores ativos

As emissões totais de CO₂ (E_t) associadas com a escolha de uma determinada secção serão a soma das duas componentes: E_t=E_p+E_j (em KgCO₂e).

O objetivo é minimizar as emissões totais de CO₂, logo é minimizar o valor de E_t. Portanto, é necessário calcular a secção que minimiza E_t. Para isso, o peso do condutor por unidade de comprimento (W_c) foi definido em função da secção (S) usando uma regressão linear baseada na informação do peso para condutores de cobre disponível em [286]:

$$W_c \cong 9,0416 \cdot S - 1,8595 \quad (5.35)$$

Onde S é a secção do condutor em mm². Obtém-se então:

$$E_p = N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot S - 1,8595) \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p \quad (5.36)$$

Considerando que a resistência do condutor para 50 Hz (frequência mais comum para as instalações elétricas) será aproximadamente igual à resistência (Ω) para corrente contínua [286]:

$$R \cong \rho' \cdot \frac{L}{S} \quad (5.37)$$

Sendo ρ' a resistividade (em $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$) para a temperatura média de funcionamento (T_B em $^\circ\text{C}$) em regime permanente. Esta pode ser obtida a partir da resistividade a 20°C [286] usando a expressão:

$$\rho' = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} \cdot (T_B - 20)] \quad (5.38)$$

Em que:

ρ_{20} - resistividade a 20°C ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

α_{20} - coeficiente de temperatura para o cobre a 20°C (K^{-1})

Como na literatura não se encontrou uma forma explícita de cálculo das emissões totais e nem da secção que minimiza as emissões de CO_2 (que se designou de S_{amb}), para o presente estudo deduziram-se expressões para calcular estas grandezas. Assim, tendo em conta as expressões (5.30), (5.36) e (5.37), obtém-se a expressão para calcular E_t :

$$E_t = E_p + E_j = N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot S - 1,8595) \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p + (N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e) \quad (5.39)$$

$$E_t = E_p + E_j = N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot S - 1,8595) \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p + (N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e) \quad (5.40)$$

A partir de E_t , pode-se obter a expressão que permite calcular a secção que minimiza as emissões de CO_2 (S_{amb}) para um sistema, calculando a derivada de E_t , em ordem a S e igualando a zero (determinar ponto mínimo):

$$\frac{dE_t}{dS} = 0 \quad (5.41)$$

$$0 = N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p + 0) + \left(-N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e \right)$$

$$-N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p) = \left(-N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e \right)$$

$$N_s \cdot N_c \cdot (9,0416 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p) = \left(N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e \right)$$

$$S^2 (N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p) = (N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e)$$

$$S^2 = \left(\frac{N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot K_e}{N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p} \right)$$

$$S_{\text{amb}} = \sqrt{\frac{N_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot H \cdot K_e}{N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot K_p}} \quad (5.42)$$

Esta é a expressão que permite obter a secção com menor impacto ambiental (S_{amb}), medido pelas emissões de CO_2 (válida quer para monofásico, quer para trifásico). Como o valor obtido pela expressão (5.42) pode resultar num valor não normalizado, será necessário escolher os valores imediatamente superior e inferior normalizados e testar qual deles resulta nas menores emissões de CO_2 . A secção escolhida segundo a perspectiva ambientalista será a que obtiver o menor valor de E_t , isto é, a que minimiza as emissões de CO_2 , logo minimiza os impactos sobre o meio-ambiente.

As funções E_t , E_j e E_p podem ser traduzidas por meio gráfico: E_p é diretamente proporcional a S (se S aumenta, então é necessário mais cobre, logo há mais emissões de CO_2) e E_j é inversamente proporcional a S (se S aumenta, a resistência diminui logo também diminuem as

perdas; resultando numa diminuição das emissões de CO_2). As duas parcelas de E_t são antagónicas e por isso limitam, no seu conjunto, o valor mínimo de E_t que ocorre quando $E_p = E_j$, tal como mostra a figura 5.15. No entanto, a parcela relativa a E_j tem grandezas que são de valor elevado (especialmente: N , I_B^2 e H), pelo que contribuiu muito mais para as emissões globais de CO_2 do que a parcela E_p , sendo por isso mais determinante para definir o valor da secção que corresponde ao mínimo de E_t .

Problemas identificados na perspetiva ambientalista:

O cálculo do valor das emissões devidas ao fabrico e descarte do condutor é aproximado, tendo em conta apenas a sua maior componente (cobre) [290].

Para o cálculo de E_j foi considerada a aproximação de que a resistência em corrente alternada é aproximadamente o valor para corrente contínua. Embora esta aproximação seja aceitável para a frequência de 50 Hz [286], para frequências superiores será necessário calcular o valor em corrente alternada tendo em conta o efeito pelicular. Também será importante ter em conta o contributo das várias frequências se existir poluição harmónica relevante [286].

No cálculo de E_j foi usado o valor de ρ' , isto é, da resistividade do cobre para a temperatura média do condutor em regime permanente (T_B). Mas, para calcular o valor de T_B é necessário saber qual a diferença entre I_B e I_z , logo qual é a secção a usar. Isto gera um problema prático, uma vez que para se calcular a secção a usar, se precisa do valor de T_B que para o seu cálculo já precisa do valor da secção. Para resolver este problema podem-se usar métodos de análise numérica. Contudo, tendo em conta que as secções são valores discretos normalizados, o nível de precisão não precisa de ser muito elevado, pelo que poderá ser aceitável iniciar o processo considerando o valor máximo admissível para a temperatura do condutor em regime permanente (70°C se for de PVC e 90°C se for de XLPE). Se se pretender maior precisão (por exemplo, para análise de condutores das redes de distribuição, devido ao elevado valor da potência, do tempo de vida da instalação e dos comprimentos dos condutores) pode-se fazer um processo iterativo em que se parte dos valores máximos da temperatura e se vai ajustando o valor da temperatura em cada iteração até obter um erro aceitável entre duas iterações consecutivas.

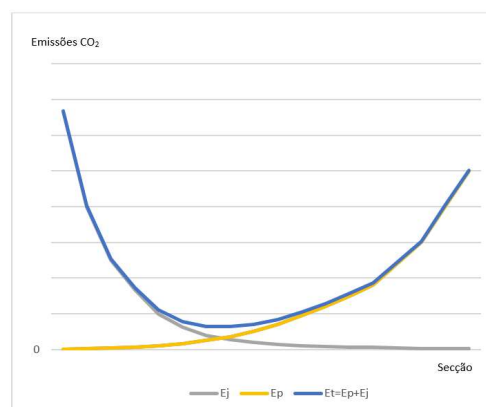


Figura 5.15 - Representação gráfica genérica de E_t , E_p e E_j evidenciando o seu ponto mínimo.

O cálculo de S_{amb} é feito usando um valor do K_e e do K_p , mas estes valores podem variar ao longo do tempo de vida da instalação. Para ser mais realista, pode-se usar um valor médio dos últimos anos, uma vez que o seu valor (especialmente do K_e) pode ser muito variável no tempo. É expectável e desejável que o K_e diminua no futuro, devido ao aumento expectável do uso de produção de energia elétrica com base em fontes renováveis, contudo o seu futuro valor pode ser difícil de estimar. Pelo contrário, é expectável que o K_p tenda a aumentar no futuro devido à progressiva escassez dos recursos naturais e à maior penalização dos impactos ambientais.

5.3.1.4 - Método de cálculo segundo uma perspetiva económica de longo prazo

A sustentabilidade é usualmente dividida em três domínios diferentes, mas que se interrelacionam: a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade social [319]. No domínio das instalações elétricas, contribuir para a sustentabilidade ambiental envolve duas vertentes (tal como definido no ponto anterior): reduzir as perdas de energia nos condutores; e reduzir o impacto ambiental da produção e descarte dos componentes das instalações elétricas, nomeadamente dos condutores (que é o componente em análise neste estudo).

Do ponto de vista da sustentabilidade económica, é necessário minimizar os custos da instalação elétrica. De acordo com [320] e com a norma CEI/IEC 60 287-3-2, os cálculos de dimensionamento da secção dos condutores devem incluir, para além dos aspetos técnicos, um estudo económico de modo a obter a secção mais económica para o tempo de vida previsível da instalação. A secção que resulta do estudo económico nunca pode ser menor do que o valor obtido pela aplicação das condições técnicas de segurança que estão definidas em regulamentos e legislação aplicável. Incluir o estudo económico no dimensionamento dos condutores não é ainda obrigatório em todos os países, nomeadamente em Portugal.

De acordo com a norma CEI/IEC 60 287-3-2, o dimensionamento económico deve ser feito incluindo os custos de curto prazo (custos de investimento, associados com a aquisição dos condutores e outros componentes e a mão de obra) que ocorrem na fase de execução da instalação; mas devem também incluir os custos que vão ocorrer durante toda a fase de exploração (médio e longo prazo) da instalação. Os custos que ocorrem durante a fase de exploração são, principalmente, devidos às perdas óhmicas nos condutores.

Quanto maior for a secção, menores serão as perdas óhmicas (porque menor é a resistência do condutor), pelo que para limitar o valor da secção é necessário ter em conta os custos totais, logo, incluir também os custos de investimento (que aumentam com o aumento da secção). Deste modo, ao incluir o custo de investimento e o de exploração, o dimensionamento económico permite obter a secção mais económica tendo em conta toda a vida útil da

instalação. Mas, simultaneamente, contribui para a redução das perdas de Joule, pelo que contribui também para a sustentabilidade ambiental da instalação, e contribui também para a sustentabilidade social, na medida em que no global do tempo de vida da instalação permite reduzir os custos, logo torna o acesso a uma instalação elétrica mais acessível às classes sociais mais desfavorecidas ou a países em vias de desenvolvimento.

A escolha da secção mais económica pode ser feita por dois métodos distintos [286], pelo que no presente estudo usaremos o método descrito por [285]. Este método define que os custos totais (C_{totais}) são iguais à soma dos custos de investimento (C_{inv}) e dos custos de exploração (C_{exp}): $C_{\text{totais}} = C_{\text{inv}} + C_{\text{exp}}$ em €.

Os C_{inv} dependem do preço do condutor por unidade de comprimento e da mão de obra. Para simplificação desta análise, considere-se que os custos de mão de obra não variam de forma significativa com a secção do condutor (trata-se de uma aproximação, uma vez que será mais caro fazer a instalação de uma secção mais elevada do que de uma muito menor; mas considera-se que não é expectável grandes variações na secção). Assim, os custos de investimento (€) são definidos por [285]:

$$C_{\text{inv}} = k_c \cdot S \cdot L + K_{\text{mo}} \quad (5.43)$$

Em que:

k_c - custo do condutor em função da secção por unidade de comprimento (€/mm².m)

S - secção (mm²)

L - comprimento do condutor (m)

K_{mo} - custos de mão de obra (aproximadamente constantes) (€)

Os custos ao longo do tempo de exploração (tempo de vida da instalação) tem três componentes: custo de manutenção; o custo de envelhecimento dos materiais/equipamentos; e o custo das perdas de Joule nos condutores. Os custos de manutenção e de envelhecimento consideram-se aproximadamente constantes e independentes do valor da secção (uma vez que se considera o mesmo perfil de materiais para os condutores - só está em causa a escolha da secção e nenhum outro aspeto como as características e constituição do condutor ou o seu modo de instalação). Assim, os custos de exploração para 1 ano podem ser descritos por [285]:

$$C_{\text{exp anual}} = 3 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} + C_{\text{fixos}} \quad (5.44)$$

Em que:

$C_{\text{exp anual}}$ - custos de exploração para 1 ano (€)

E - preço da energia elétrica (€/kWh)

L - comprimento do condutor (m)

N - tempo de vida esperado para a instalação (em anos)

H - horas de funcionamento por ano (h/ano)

C_{fixos} - custos de manutenção e de envelhecimento consideram-se aproximadamente constantes (€)

ρ' - resistividade do cobre para a temperatura de funcionamento ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

I_B - corrente de serviço do condutor (A)

S - secção do condutor (mm^2)

A expressão (5.44) corresponde ao valor das perdas de Joule num sistema trifásico (perdas de Joule = $3 \cdot R' \cdot I_B^2$, sendo R' a resistência do condutor por unidade de comprimento para a temperatura média de funcionamento (Ω)), a multiplicar pelo número de horas de funcionamento num ano (H) e pelo preço da energia elétrica (E). Como as perdas de Joule são calculadas em W e o preço da energia elétrica é em €/kWh, tem-se de usar um fator de ajuste das unidades (10^{-3}).

A expressão (5.44) corresponde ao valor dos custos de exploração para 1 ano, pelo que é necessário calcular os custos de exploração para os N anos de vida da instalação. Para tal, é necessário ter em conta a valorização (ou desvalorização) do valor do dinheiro ao longo do tempo. Para se poderem somar parcelas monetárias que ocorrem em períodos de tempo diferentes é necessário converter todas as parcelas a um mesmo referencial, sendo que neste estudo (e usualmente) se reportam todos os custos ao ano em que se faz o investimento (ano 0). Essa conversão do “somatório” das diversas parcelas monetárias em N anos não é feita pela soma literal das parcelas, mas é feita usando o fator de atualização do valor do dinheiro (f_{act}) [285]:

$$f_{act} = \frac{(1+t_{act})^N - 1}{t_{act} \cdot (1+t_{act})^N} \quad (5.45)$$

Em que:

t_{act} - taxa de atualização do valor do dinheiro (usualmente dado em %). Usualmente usa-se a taxa de juros.

N - número de anos de vida expectável para a instalação (anos)

Ao incorporar o tempo de vida da instalação no cálculo dos custos de exploração e desprezando os custos fixos (uma vez que não contribuem para escolher a secção), obtém-se para os n anos [285]:

$$C_{exp} = 3 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} \cdot f_{act} \quad (5.46)$$

Desprezando também os custos de mão de obra, que, como são considerados aproximadamente constantes, não interferem na escolha da secção, o custo total será a soma das duas parcelas que dependem da secção (Matos, 1996):

$$C_{\$ totais} = C_{inv} + C_{exp} = Kc \cdot S \cdot L + 3 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} \cdot f_{act} \quad (5.47)$$

A primeira parcela é diretamente proporcional a S e a segunda é inversamente proporcional, pelo que é possível determinar um ponto mínimo (correspondente à secção de custo mínimo $S_{\epsilon\min}$) para a função $C_{\$totalis}$, tal como mostra genericamente a figura 5.16.

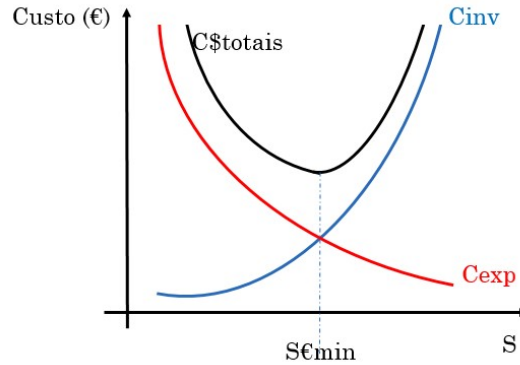


Figura 5.16 - Representação gráfica das funções $C_{\$totalis}$, C_{inv} e C_{exp} e indicação da $S_{\epsilon\min}$ (baseado em [285] e [286]).

Para determinar o ponto mínimo pode-se recorrer ao cálculo de $dC_{totalis}/dS=0$ ou fazendo $C_{inv}=C_{exp}$, uma vez que o ponto mínimo ocorre quando os dois tipos de custos se igualam. O resultado permite obter a expressão de $S_{\epsilon\min}$:

$$S_{\epsilon\min} = \sqrt{\frac{3 \cdot \rho' \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} \cdot f_{act}}{Kc}} \quad (5.48)$$

O valor obtido pela expressão (5.48) não é normalizado, pelo que é necessário estudar qual é o valor normalizado (considerando o imediatamente superior e inferior a $S_{\epsilon\min}$) que tem menores custos totais ($C_{\$totalis}$).

Se a secção obtida for inferior à secção mínima técnica (resultante do cumprimento das condições da legislação), a secção final será a mínima técnica, uma vez que não é permitido usar secções menores por razões de segurança. Mas, usualmente a $S_{\epsilon\min}$ toma valores muito superiores à secção mínima técnica.

Após a escolha da secção mais económica ($S_{\epsilon\min}$) é conveniente avaliar o tempo de retorno do investimento, uma vez que se a $S_{\epsilon\min}$ é maior que a secção mínima técnica, implica um maior custo de investimento. Para isso é necessário calcular o custo de investimento adicional que a escolha da secção $S_{\epsilon\min}$ implica, fazendo a diferença entre os custos (ΔC_{inv}); e é necessário calcular a diferença dos custos de exploração para os n anos usando a expressão (5.47) ($\Delta C_{exp\text{ anual}}$), podendo desprezar-se os custos fixos, e dividindo pelo número de anos do tempo de vida da instalação [286]:

$$\Delta C_{inv} = C_{inv}(S_{\epsilon\min}) - C_{inv}(S_{técnica}) \quad (5.49)$$

$$\Delta C_{exp\text{ anual}} = [C_{exp}(S_{\epsilon\min}) - C_{exp}(S_{técnica})] / N \quad (5.50)$$

O período de retorno do investimento (PRI, em anos) obtém-se dividindo os dois valores:

$$PRI = \Delta C_{\text{inv}} / \Delta C_{\text{exp anual}} \quad (5.51)$$

Este valor deverá ser avaliado em comparação com o tempo de vida da instalação e com a poupança que é expectável no total dos N anos. Essa poupança (em €) pode ser calculada fazendo: Poupança total = (n-PRI). $\Delta C_{\text{exp anual}}$

Usualmente o valor da secção mínima económica é bastante superior à mínima técnica. Um exemplo de cálculo apresentado por [286] mostra que a enquanto a secção técnica resultante para o exemplo apresentado era de 95 mm², a respetiva secção mínima económica era de 400 mm² correspondendo a uma poupança de cerca de 50% dos custos totais e a um período de retorno do investimento de apenas 5,2 anos.

Problemas identificados na perspetiva económica de longo prazo:

O principal problema deste método é que só tem em conta parte das emissões de CO₂: as que são devidas às perdas de Joule nos condutores e apenas na perspetiva do seu custo económico e não do seu custo ambiental. Ou seja, não considera o impacto ambiental de todo o ciclo de vida do condutor nem da produção da energia elétrica correspondente às perdas no condutor.

5.3.1.5 - Método de cálculo segundo uma perspetiva sustentável

Para além do contributo indireto que a análise económica de longo prazo dá para a sustentabilidade (diminuindo as perdas de Joule), o seu objetivo não é encontrar a melhor solução do ponto de vista do impacto ambiental, pois não tem em conta o impacto ambiental da fabricação dos condutores nem da produção de energia elétrica correspondente às perdas de Joule nos condutores. Assim, apesar do dimensionamento económico ser um grande contributo para melhorar a eficiência energética das instalações elétricas (porque reduz as perdas óhmicas), é também necessário incluir uma análise com o objetivo de minimizar o impacto ambiental das instalações (sustentabilidade ambiental) em conjunto com a análise económica.

Para [286] a análise ambiental pode ser feita após a análise económica, calculando as emissões de CO₂ devidas ao fabrico dos condutores e às perdas de Joule (para $S_{\text{€min}}$ e para $S_{\text{técnica}}$):

$$\Delta E_p = E_p(S_{\text{€min}}) - E_p(S_{\text{técnica}}) \quad (5.52)$$

$$\Delta E_e = E_e(S_{\text{técnica}}) - E_e(S_{\text{€min}}) \quad (5.53)$$

Para que a secção $S_{\text{€min}}$ seja ambientalmente mais sustentável que a $S_{\text{técnica}}$ é necessário que as emissões adicionais devidas ao aumento da secção (pelo fabrico do condutor) sejam menores

que as emissões que a diminuição das emissões devidas ao aumento da secção (por diminuição das perdas de Joule) [286]: $\Delta E_p < \Delta E_e$.

Apesar do método de [286] ser bastante simples, este não garante a minimização dos impactos ambientais, pois apenas se verifica se as emissões da $S_{\min}$ são menores que as da $S_{\text{técnica}}$. Perante tal, no presente estudo propõem-se a dedução de um método e das respetivas expressões, onde se integram as análises económica e ambiental. Como a análise ambiental atrás descrita é quantificada em emissões de CO_2 e a análise económica atrás descrita é quantificada em euros, é necessário que as duas análises se façam nas mesmas unidades. Para isso, optou-se por converter as emissões de CO_2 em custos, usando o valor oficial definido pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissões de CO_2 (C_{lic}), que atribui um preço por tonelada de CO_2 emitido [318]. Por exemplo, em 2024 o valor foi de 63,7 €/tCO₂ [318], isto é 0,0637 €/kgCO₂.

Assim, a expressão (5.40) que permite calcular o valor total das emissões de CO_2 , será convertida em € multiplicando o seu valor pelo custo da licença de emissão de CO_2 (C_{lic}), obtendo-se o custo total das emissões de CO_2 para uma dada secção (€):

$$C_{\text{emissões}} = E_t \cdot C_{\text{lic}} \quad (5.54)$$

$$C_{\text{emissões}} = L \cdot 10^{-3} [\text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot (9,0416 \cdot S - 1,8595) \cdot K_p) + (\text{N}_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{1}{S} \cdot H \cdot K_e)] \cdot C_{\text{lic}} \quad (5.55)$$

Em que:

C_{lic} - custo da licença de emissão de CO_2 (€/tCO₂) definido pela CELE

$C_{\text{emissões}}$ - custo total das emissões de CO_2 para uma dada secção (€)

Esta expressão pode ser adicionada à expressão dos custos económicos:

$$C_{\text{totais}} = C_{\$ \text{totais}} + C_{\text{emissões}} \quad (5.56)$$

Isto é:

$$C_{\text{totais}} = \left(K \cdot S \cdot L + 3 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} \cdot f_{\text{act}} \right) + L \cdot 10^{-3} [\text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot (9,0416 \cdot S - 1,8595) \cdot K_p) + (\text{N}_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{1}{S} \cdot H \cdot K_e)] \cdot C_{\text{lic}} \quad (5.57)$$

Agrupar as parcelas do mesmo tipo:

$$\begin{aligned} C_{\text{totais}} &= (K \cdot S \cdot L + \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot 9,0416 \cdot S \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}}) \\ &\quad + \left(3 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot E \cdot 10^{-3} \cdot f_{\text{act}} + \text{N}_{ca} \cdot N \cdot I_B^2 \cdot \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot K_e \cdot C_{\text{lic}} \right) \\ &\quad - 1,8595 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}} \\ C_{\text{totais}} &= S \cdot L (K + \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}}) + \rho' \cdot \frac{L}{S} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{\text{act}} + \text{N}_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{\text{lic}}) - \\ &\quad 1,8595 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}} \end{aligned} \quad (5.58)$$

Derivar em ordem a S e igualar derivada a zero para determinar o ponto mínimo:

$$\begin{aligned} \frac{dE_t}{dS} &= 0 \quad (5.59) \\ \frac{dE_t}{dS} &= L (K + \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}}) - \rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{\text{act}} + \text{N}_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{\text{lic}}) + 0 \\ 0 &= L (K + \text{Ns} \cdot \text{Nc} \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{\text{lic}}) - \rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{\text{act}} + \text{N}_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{\text{lic}}) \end{aligned}$$

Dividindo por L e reorganizando:

$$\rho' \cdot \frac{L}{S^2} \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{act} + N_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{lic}) = L \cdot (K + N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{lic})$$

$$\rho' \cdot L \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{act} + N_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{lic}) = S^2 \cdot L \cdot (K + N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{lic})$$

$$\frac{\rho' \cdot L \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{act} + N_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{lic})}{L \cdot (K + N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{lic})} = S^2$$

$$S^2 = \frac{\rho' \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{act} + N_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{lic})}{K + N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{lic}}$$

$$S_{sust} = \sqrt{\frac{\rho' \cdot I_B^2 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot E \cdot f_{act} + N_{ca} \cdot N \cdot K_e \cdot C_{lic})}{K + N_s \cdot N_c \cdot 9,0416 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot C_{lic}}} \quad (5.60)$$

A expressão (5.60) é um contributo do presente trabalho de investigação e permite calcular a secção mais sustentável tendo em conta a dimensão económica e ambiental, de forma muito simples e rápida, o que potencia a sua utilização pelos profissionais.

Se a secção obtida for inferior à secção mínima técnica (resultante do cumprimento das condições da legislação), a secção final será a mínima técnica, uma vez que não é permitido usar secções menores por razões de segurança. Mas, usualmente a S_{sust} toma valores muito superiores à secção mínima técnica.

O valor obtido pela expressão (5.60) não é normalizado, pelo que também neste caso é necessário encontrar o valor normalizado. Para isso, calculam-se os C_{totais} (usando a expressão (5.58)) para as secções normalizadas imediatamente superior e inferior a S_{sust} . A secção que obtiver o menor C_{totais} é a mais sustentável e por isso deve ser a escolhida.

Problemas identificados na perspetiva sustentável:

A expressão (5.60) depende de ρ' , e este depende da temperatura de funcionamento do condutor, que depende da diferença entre I_B e I_Z , logo depende da secção. Para resolver este problema propõe-se o cálculo por iterações seguindo o fluxograma apresentado na figura 5.17.

A sequência do processo iterativo definido/esquematizado na figura 5.17 também pode ser aplicado para o cálculo da secção mais económica (S_{smin}) ou a secção com menor impacto ambiental (S_{amb}).

5.3.1.6 - Caso de estudo desenvolvido para a atividade pedagógica

Os métodos de cálculo da secção de um condutor foram aplicados a um exemplo construído propositadamente para a atividade pedagógica pretendida. No caso de estudo pretende-se

dimensionar um condutor que faz parte de uma instalação industrial. O condutor é de cobre e PVC e vai alimentar um motor que consome 125A (carga trifásica equilibrada e aproximadamente constante) e tem um fator de potência de 0,8. O cabo tem 100m de comprimento e será instalado fixado à parede com braçadeiras. A queda de tensão máxima admissível no cabo é de 3%. Pretende-se usar um cabo do tipo H07V-R.

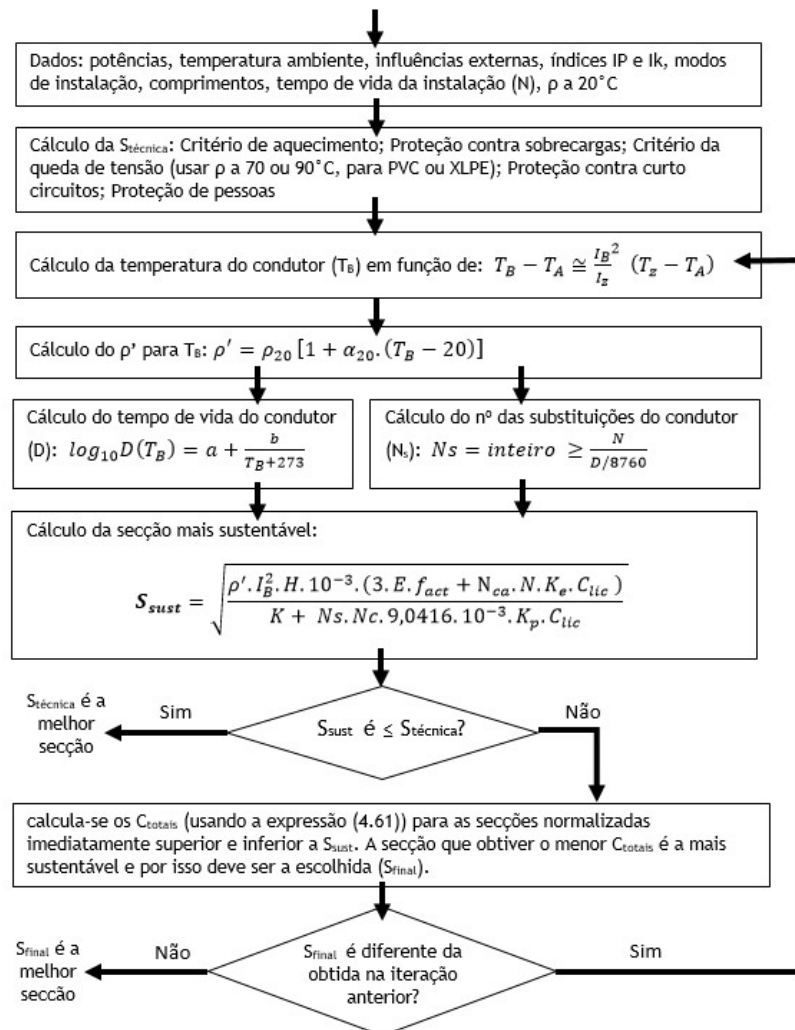


Figura 5.17 - Síntese do processo iterativo proposto para cálculo da secção final.

Para o estudo, foram considerados 2 cenários quanto ao tempo de vida da instalação e quanto às horas de laboração anuais:

- i) pior caso: N=40 anos e H=8760 h/ano (laboração contínua);
- ii) melhor caso: N=20 anos e H=2000 h/ano (laboração de 8h/dia, 5 dias/semana, 50 semanas/ano).

Perspetiva deontológica:

Foi aplicado o método e expressões descritas no ponto 5.4.1 para obter a secção mínima técnica ($S_{técnica}$), isto é, o método descrito para a perspetiva deontológica.

Tendo em conta o modo de instalação, considerou-se o Método de Referência C. Também se considerou que não há fatores de correção a utilizar, pelo que a aplicação do Critério de Aquecimento permitiu obter uma secção mínima de 50 mm^2 ($I_z \geq I_B$: $144 \text{ A} > 125 \text{ A}$).

O dimensionamento do equipamento de proteção contra sobrecargas permitiu obter (tal como mostra a figura 5.18) uma secção de 50 mm^2 e um disjuntor de 125 A .

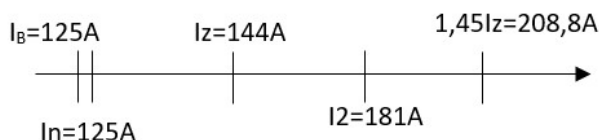


Figura 5.18 - demonstração do cumprimento das condições para garantia de proteção contra sobrecargas usando um disjuntor, para a secção de 50 mm^2 .

Os 50 mm^2 também permitem verificar o cumprimento do Critério da Queda de Tensão, pois: $\Delta V = 100 \times 0,0462465 + 75 \times 0,0075 = 5,18 \text{ V}$ que é menor que 3% ($6,9 \text{ V}$), verificando-se assim este critério.

Esta secção também permite cumprir as condições de proteção contra curto-circuitos:

- A corrente de curto-circuito mínima (curto-circuito na extremidade do cabo), pois $I_{cc_{\min}} = (230 \times 0,95) / ((R_F + R_N) \times 1,5) = 1307 \text{ A}$ (a secção do neutro considerada é de 25 mm^2 ; as resistências do condutor de fase e do neutro foram obtidas em tabelas de fabricantes para a temperatura de 20°C em Ω/km e foram multiplicadas pelo comprimento)
- O tempo de fadiga térmica do condutor será: $t_{ft} = ((K.S) / I_{cc_{\min}})^2 = 4,84 \text{ s}$ (com $K=115$ para a secção de 25 mm^2 (neutro) por ser a que mais cedo entraria em fadiga térmica). Como o $t_{ft} \geq 0,1 \text{ s}$ ($0,1 \text{ s}$ foi considerado como o tempo de atuação do disjuntor para disparo eletromagnético), isto significa que o disjuntor para o pior caso ($I_{cc_{\min}}$) vai atuar antes de 5 s e antes do t_{ft} , logo cumpre a condição de proteção quanto ao tempo de atuação.
- Conclui-se que pela aplicação dos critérios técnicos definidos nas RTIEBT [269], a secção mínima $S_{\text{técnica}}$ é de 50 mm^2 . Para esta secção obtém-se uma densidade de corrente de $125/50 = 2,5 \text{ A/mm}^2$.

Perspetiva económica de curto prazo:

Para exemplificar a aplicação e os princípios desta perspetiva e do respetivo método foi necessário considerar a hipotética existência de uma secção intermédia de $42,5 \text{ mm}^2$ (produzida com custo semelhante às secções normalizadas) com valores de $I_z=131,5 \text{ A}$ e $R=0,4555 \Omega/\text{km}$ para 20°C (os valores para esta secção intermédia foram estimados com base nas secções normalizadas adjacentes e considerando uma variação linear).

Foram testados cada um dos critérios técnicos (Critério de Aquecimento, proteção contra sobrecargas, Critérios da Queda de Tensão, proteção contra curto-circuitos): tendo em conta

o valor do I_z , esta “secção” também cumpre o Critério de Aquecimento. O cálculo do ΔV para este caso resultou em 6V, o que também cumpre o Critério da Queda de Tensão.

A proteção contra sobrecargas continua a verificar-se, tal como mostra a figura 5.19:

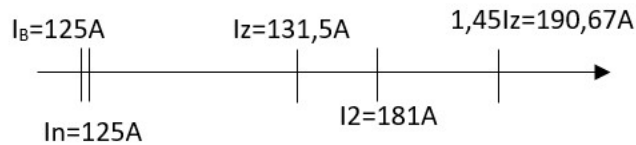


Figura 5.19 - demonstração do cumprimento das condições para garantia de proteção contra sobrecargas usando um disjuntor, para a hipotética secção de 42,5mm².

A proteção contra curto-circuitos (tempo de atuação) também se verifica, pois $I_{cc_{min}}=1231,85A$ e $t_{ft}=5,44s$. Assim, reduzir a secção de 42,5mm² não parece trazer nenhum problema, pois todas as condições legais se verificam. A secção técnica ($S_{técnica}$) resultante desta perspetiva é de 42,5mm². Neste caso, a densidade de corrente será de $125/42,5=2,94A/mm^2$, que corresponde a um aumento de 17,65% relativamente ao caso da perspetiva deontológica em que se usava 50mm².

Note-se que se algum dos critérios/condições definidas nas RTIEBT não se verificasse, a secção de 42,5mm² não poderia ser escolhida. No presente exemplo, as várias condições verificam-se propositadamente (o caso foi ajustado para que se verificassem, para permitir uma melhor reflexão sobre o tema pretendido).

Comparação entre a perspetiva deontológica e a económica de curto prazo:

A opção económica de curto prazo é mais vantajosa porque permite poupar no custo do cabo (considerando que a secção de 42,5mm² passasse a ser produzida tal como as secções normalizadas, e por isso teria custos semelhantes). Também permite maior densidade de corrente por unidade da secção; logo, de acordo com [304], maior eficiência no transporte de energia elétrica). Também permite usar menos cobre, logo diminui o impacto ambiental da produção do cabo. Todas estas vantagens foram identificadas pelos estudos de [304] e por isso encontram fundamento na literatura científica.

Quanto ao uso de recursos (considerando o cobre), se 50mm² (resultado da perspetiva deontológica) for considerado como 100% do cobre a usar: 42,5mm² correspondem a 85%, logo a opção económica de curto prazo traduz-se numa poupança de 15% do cobre, o que corresponde a cerca de 15% de redução de custos e a 15% na redução do uso de recursos naturais (cobre). Tal corresponde a um benefício ambiental por usar menos recursos e a cerca de 15% menos emissões de CO₂ devido à produção do condutor. Assim, a perspetiva económica de curto prazo parece ser mais sustentável económica e ambientalmente.

Durante a atividade pedagógica, neste ponto, todos os estudantes concordaram (por votação) que a melhor opção era usar um condutor de $42,5\text{mm}^2$ (se fosse normalizado) e todos compreenderam as suas vantagens.

Contudo, é necessário ter em conta que o tempo de vida de um condutor depende da sua temperatura de funcionamento, que depende da diferença entre I_B e I_Z para cada secção. Quanto maior a diferença, menor será a temperatura do condutor, logo maior será o seu tempo de vida. A referência convencional do tempo de vida de um condutor para $I_Z=I_B$ é de cerca de 20 anos.

Para avaliar o impacto de cada uma das secções (50mm^2 e $42,5\text{mm}^2$) foi calculado (usando as expressões (5.31) e (5.32)) o tempo de vida para cada caso:

- Para o 50mm^2 : $T_B=60,14^\circ\text{C}$, logo $D=616288\text{ h}$, considerando 8760 h/ano , o tempo de vida será de 70,35 anos;
- Para o $42,5\text{mm}^2$: $T_B=66,145^\circ\text{C}$, logo $D=284106\text{ h}$, considerando 8760 h/ano , o tempo de vida será de 32,4 anos.

Estes resultados mostram que a secção resultante da perspetiva económica de curto prazo ($42,5\text{mm}^2$) reduz o tempo de vida útil do cabo para 46% do valor obtido com a opção de 50mm^2 (perspetiva deontológica). Isto pode ter consequências importantes se o tempo de vida do condutor passar a ser menor que o tempo de vida da instalação, o que obrigaria a substituir o condutor, logo aumentaria o uso de cobre, o impacto ambiental pela produção dos 2 condutores e o custo iria duplicar. Por isso, não se pode concluir que ao reduzir a secção do condutor se vai necessariamente reduzir no uso dos recursos (cobre), no seu impacto ambiental ou no seu custo.

Por exemplo, se o tempo de vida da instalação for de 40 anos: a opção de $42,5\text{mm}^2$ implica um novo condutor ao fim de 32 anos, logo resultará no dobro do custo económico e ambiental (incluindo maior poluição por fabrico e descarte do material). Usar 2 cabos de $42,5\text{mm}^2$ é mais poluente e caro que usar um condutor de 50mm^2 durante os 40 anos.

Deixar uma margem entre I_Z e I_B aumenta o tempo de vida útil dos cabos, pelo que aumentar a secção até pode vir a reduzir o uso de cobre (se evitar a substituição do condutor durante o tempo de vida da instalação) e pode também trazer benefícios ambientais e económicos (porque se usa durante mais tempo o mesmo condutor), para além de se aumentar a segurança da instalação.

Problemas das perspetivas deontológica e económica de curto prazo:

- Não analisam os custos durante o funcionamento da instalação
- Não consideram a dimensão ambiental
- Não avaliam o tempo de vida do condutor
- Não consideram as emissões de CO_2 .

Perspetiva económica de longo prazo:

Para o estudo económico de longo prazo foram consideradas as 2 situações já descritas:

- i) pior caso: $N=40$ anos e $H=8760\text{h/ano}$ (laboração contínua);
- ii) melhor caso: $N=20$ anos e $H=2000\text{h/ano}$ (laboração de 8h/dia, 5 dias/semana, 50 semanas/ano).

Como uma aproximação, considerou-se o ρ' para 70°C (temperatura máxima para condutores de PVC ($\rho'=2,134 \cdot 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)). Para obter o preço do condutor em função da secção e do comprimento, o valor de k foi calculado usando o preço dos cabos (H07V-R) para várias secções disponibilizado por um fabricante [321], e calculando o valor médio por m de $k=0,20937\text{€/mm}^2$; o preço da energia elétrica consultou-se em 15-11-2023 e usou-se o valor de $0,18\text{€/kWh}$ [322]; para a taxa de atualização do valor do dinheiro foi usada a taxa Euribor a 12 meses do dia 21-09-2023 que foi de $4,23\%$ [323].

Se se considerar que a secção mínima a usar é de 50mm^2 , pode-se calcular a temperatura de funcionamento do condutor ($T_B=60^\circ\text{C}$) usando a expressão (5.32), que resultou em 60°C . Com este valor pode-se calcular o valor de ρ' para 60°C (usando a expressão (5.38)) que toma o valor de $0,02064 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

Usando a expressão (5.48), para 60°C obtém-se:

- i. Pior caso: $N=40$ anos e $H=8760\text{h/ano}$
 $S_{\text{min}}=379,66\text{mm}^2$ para 70°C
 $S_{\text{min}}=373,34\text{mm}^2$ para 60°C
- ii. Melhor caso: $N=20$ anos e $H=2000\text{h/ano}$
 $S_{\text{min}}=144,80\text{mm}^2$ para 70°C
 $S_{\text{min}}=148,85\text{mm}^2$ para 60°C

Constata-se que a alteração do valor do ρ' não faz variar de forma significativa o valor da secção. Para testar o impacto da variação do preço da energia elétrica, usou-se o valor de $E=0,25\text{€/kWh}$ obtendo-se:

- i. $S_{\text{min}}=453,09\text{mm}^2$ para 70°C
- ii. $S_{\text{min}}=170,64\text{mm}^2$ para 70°C

O aumento do preço da energia resulta no aumento da secção, tal como esperado porque aumentam os custos com as perdas.

Como aumentar a secção reduz a temperatura de funcionamento do condutor, pode-se considerar a situação extrema em que a secção a usar é muito maior que a mínima para garantir a condição do critério de aquecimento (ou seja, que I_z é muito maior que I_B), pelo que a temperatura tenderá para a temperatura ambiente. Considerando a temperatura ambiente média como 30°C , o ρ' será de $0,0186 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Para este caso, obtém-se:

- i. $S_{\text{min}}=354,45\text{mm}^2$ para 30°C
- ii. $S_{\text{min}}=141,29\text{mm}^2$ para 30°C

Tal como mostram os cálculos, o valor da $S_{\min}$ varia pouco com a temperatura de funcionamento (T_B), e como o cálculo da secção mais económica usualmente resulta num valor muito superior ao mínimo técnico, é aceitável considerar o valor da temperatura ambiente para o cálculo da $S_{\min}$.

Para escolher a secção normalizada de custo económico total mínimo (considerando $T_B=30^\circ\text{C}$), obtém-se (usaram-se as secções disponíveis em [324]):

- i. Para $S=300\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}=15048,95\text{ €}$ e para $S=380\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}=14878,04\text{ €}$, pelo que a secção normalizada é de $S_{\min}=380\text{ mm}^2$
- ii. Para $S=120\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}=5995,86\text{ €}$ e para $S=150\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}=5927,28\text{ €}$ pelo que a melhor secção normalizada é $S_{\min}=150\text{ mm}^2$.

Perspetiva ambientalista:

Considerando que o condutor terá um tempo de vida útil superior ao tempo de vida da instalação (caso se use 50 mm^2 ou superior) e usando a expressão (5.42) com os valores de $k_p=4,72\text{ kgCO}_2\text{e/kgCu}$, e $K_e=0,208\text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$ (de acordo com o definido no ponto 5.3.1.1 iii)), calculou-se a secção S_{amb} para os 2 cenários considerados, obtendo-se:

- i. Pior caso: $N=40$ anos e $H=8760\text{ h/ano}$
 - $S_{\min}=653,52\text{ mm}^2$ para 70°C
 - $S_{\min}=642,71\text{ mm}^2$ para 60°C
 - $S_{\min}=610,12\text{ mm}^2$ para 30°C
- ii. Melhor caso: $N=20$ anos e $H=2000\text{ h/ano}$
 - $S_{\min}=220,80\text{ mm}^2$ para 70°C
 - $S_{\min}=217,15\text{ mm}^2$ para 60°C
 - $S_{\min}=206,14\text{ mm}^2$ para 30°C

Também neste caso se constata que a variação do ρ' entre os limites máximo (70°C) e mínimo (temperatura ambiente) não afeta de forma significativa o resultado.

Considerando as secções normalizadas para o caso i) e para $T_B=30^\circ\text{C}$, obtém-se as emissões totais de CO_2 usando a expressão (5.40):

- Para 600 mm^2 : $E_t=20829,65\text{ kgCO}_2\text{e}$ (sendo esta a secção e menores emissões)
- Para 630 mm^2 : $E_t=20837,44\text{ kgCO}_2\text{e}$

Considerando as secções normalizadas para o caso ii) obtemos para as emissões totais de CO_2 :

- Para 185 mm^2 : $E_t=7075,62\text{ kgCO}_2\text{e}$ (sendo esta a secção e menores emissões)
- Para 240 mm^2 : $E_t=7115,92\text{ kgCO}_2\text{e}$

Perspetiva sustentável:

Considerando que o condutor terá um tempo de vida útil superior ao tempo de vida da instalação (caso se use 50 mm² ou superior) e usando a expressão (5.60) e o valor de $C_{clic}=63,7\text{€}/tCO_2$, obtém-se:

- i. Pior caso: $N=40$ anos e $H=8760\text{h/ano}$
 $S_{\min}=397,63\text{ mm}^2$ para 70°C
 $S_{\min}=371,22\text{ mm}^2$ para 30°C
- ii. Melhor caso: $N=20$ anos e $H=2000\text{h/ano}$
 $S_{\min}=155,51\text{ mm}^2$ para 70°C
 $S_{\min}=145,18\text{ mm}^2$ para 30°C

Tendo em conta os resultados para 30°C , estudou-se qual a secção normalizada com menor custo total (expressão (5.58)), ou seja, que é mais sustentável:

- i. Para $S=300\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}= 16724,21\text{ €}$
 Para $S=380\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}= 16356,25$ (sendo esta a secção mais sustentável)
- ii. Para $S=120\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}= 6511,18\text{ €}$
 Para $S=150\text{ mm}^2$ o $C_{\text{total}}= 6398,21\text{ €}$ (sendo esta a secção mais sustentável)

Síntese das secções obtidas para as várias perspetivas /métodos:

Considerando que a secção não varia de forma significativa com a temperatura, mas que varia com as horas de funcionamento e o tempo de vida da instalação, na tabela 5.3 só se apresentam os valores normalizados (com a exceção da perspetiva económica de curto prazo) para $T_B=70^\circ\text{C}$.

Tabela 5.3 - Secções obtidas para cada uma das perspetivas consideradas e para cada um dos 2 cenários estudados.

Perspetiva	Pior caso	Melhor caso
	$N=40$ anos e $H=8760\text{h/ano}$	$N=20$ anos e $H=2000\text{h/ano}$
Deontológica	50 mm ²	50 mm ²
Económica curto prazo	*42,5 mm ²	42,5 mm ²
Económica longo prazo	380 mm ²	150 mm ²
Ambientalista	600 mm ²	185 mm ²
Sustentável	380 mm ²	150 mm ²

* como o tempo de vida do condutor é menor que o tempo de vida da instalação, terá de ser substituído, pelo que se vai usar 2 condutores no total do tempo de vida da instalação.

Da análise da tabela 5.3 pode-se concluir que o cálculo do valor da secção mais económica a longo prazo ($S_{\min}$) permite aproximar-se também ao cálculo da secção mais sustentável (S_{sust}). Tal deve-se ao facto de que o cálculo do valor da secção mais económica a longo prazo também procura minimizar as perdas durante a vida útil da instalação, o que também contribui para diminuir os impactos ambientais (as perdas são o que mais contribui para o impacto ambiental).

As poupanças que se obtêm em caso de substituir a secção técnica de 50 mm² e usar a secção mais sustentável (o cálculo dos custos só tem em conta a componente económica) são apresentadas na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Poupanças (económicas e de emissões de CO₂) que se obtêm em caso de substituir a secção técnica de 50 mm² e usar a secção mais sustentável.

caso	Secção (mm ²)	Cinv (€)	Cexp para N anos (€)	ΔCexp anual (média)	PRI anos	Lucro em N anos (€)	Emissões (kgCO ₂ e)	Emissões evitadas (kgCO ₂ e)
i)	50	1046,85	52607,08				127940,1	
	380	7956,06	6921,98	1142,13	6,05	38832,42	23205,67	104734,43
ii)	50	1046,85	8360,18				15358,02	
	150	3140,55	2786,73	278,67	7,51	3483,37	7393,07	7964,95

Os dados da tabela 5.4 mostram que o tempo de retorno é aceitável para justificar o investimento inicial suplementar ao usar as secções mais sustentáveis (que também são as mais económicas). Também há uma poupança suplementar através das emissões evitadas que não foram incluídas no cálculo da poupança global. Os valores apresentados são apenas para 1 condutor da instalação, pelo que este estudo deverá estender-se a todos os condutores de uma instalação industrial.

A tabela 5.5 mostra uma síntese de algumas das características das perspectivas estudadas (deontológica, económica de curto prazo, ambientalista, económica de longo prazo, sustentável).

Tabela 5.5 - Síntese das características de cada uma das perspectivas estudadas.

	Deontológica	Económica curto prazo	Ambientalista	Económica longo prazo	Sustentável
Cumprir as RTIEBT	✓	✓	✓	✓	✓
Implicar mudanças das secções normalizadas		✓			
Minimizar custos investimento		✓		✓	✓
Minimizar custos exploração				✓	✓
Diminui o tempo de vida do condutor		✓			
Minimiza emissões CO ₂			✓		✓

5.3.2- Avaliação da Atividade Pedagógica IE+E+S

A Atividade Pedagógica IE+E+S foi aplicada durante uma aula teórica da unidade curricular de Sistemas Elétricos de Baixa Tensão do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na FEUP no ano letivo de 2023/2024. Quando a atividade foi aplicada, os estudantes já tinham aprendido a fazer o dimensionamento da secção dos condutores em acordo com as RTIEBT [269]. Os questionários para avaliação foram aplicados antes e depois da atividade e responderam 19 estudantes que estavam presentes na aula (73,7% eram do sexo masculino e 26,3% eram do sexo feminino) no pré-questionário; e 21 estudantes (76,2% do sexo masculino e 23,8% do sexo feminino) ao questionário após a ação pedagógica.

A avaliação da Atividade Pedagógica IE+E+S divide-se em duas vertentes:

1. avaliação do impacto da atividade na opinião dos estudantes sobre a influência dos valores e perspetivas éticas no dimensionamento da secção de um condutor elétrico;
2. avaliação dos conhecimentos dos alunos sobre os conceitos e temas abordados.

Para avaliar a vertente 1, foram aplicados questionários pré e pós atividade pedagógica. Nestes, foi pedido aos estudantes que indicassem o seu grau de concordância para cada uma das seguintes afirmações (na resposta usou-se uma escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”):

- Afirmação A - “O resultado do dimensionamento da secção de um condutor elétrico só depende dos cálculos técnicos.” Esta afirmação pretende medir qual a perceção dos estudantes sobre a neutralidade ética dos cálculos de engenharia (neste caso particular, das instalações elétricas). Antes da atividade, 5,3% dos estudantes concordam completamente (nível 5) e 4% concordam parcialmente (nível 4) com a afirmação, indicando que cerca de 9,3% dos estudantes têm uma imagem de neutralidade dos cálculos da engenharia. Depois da atividade pedagógica, nenhum estudante concordou com a afirmação. Antes da atividade, 31,6% nem concordam, nem discordam (nível 3); e depois da atividade esse número desceu ligeiramente para 30%. Os que discordam da afirmação (nível 1 e 2) perfazem 47,4% antes da atividade e sobem para 70% após a atividade. Esta alteração das respostas sugere que os estudantes mudaram a sua perspetiva devido à atividade pedagógica. Estes resultados são apresentados na tabela 4.7.
- Afirmação B - “O resultado do dimensionamento da secção de um condutor elétrico só é influenciado pelos conhecimentos técnico-científicos do/a projetista.” - esta afirmação tenta indagar sobre se os estudantes reconhecem que outras dimensões individuais do profissional, para além dos conhecimentos técnico-científicos, que possam influenciar os resultados de dimensionamento. Os resultados das respostas são apresentados na tabela 4.7. Antes da atividade, 15,8%

dos estudantes concordaram com a afirmação, e depois da atividade este valor foi de 10%. Os estudantes que não concordaram nem discordaram foram de 31,6% antes da atividade e de 25% após a atividade. Antes da atividade 52,7% discordaram da afirmação, e depois da atividade esse valor subiu para 65%.

- Afirmação C - “O resultado do dimensionamento da secção de um condutor elétrico só depende da legislação em vigor (RTIEBT - Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão).” - esta afirmação pretende avaliar a percepção que os estudantes têm sobre o papel e relevância do projetista no resultado final de um dimensionamento. Antes da atividade, cerca de 26,3% concordavam com a afirmação, e depois da atividade esse valor passa para 9,6%. Os estudantes que não concordam nem discordam são de 26,3% antes da atividade e de 14,3% depois. Cerca de 47,4% discordam da afirmação antes da atividade e depois esse valor sobe para 76,2%. Estes resultados são sintetizados na tabela 4.7.
- Afirmação D - “O resultado do dimensionamento da secção de um condutor elétrico será influenciado pelos valores morais do/a projetista, pelo que projetistas diferentes poderão chegar a dimensionamentos diferentes.” - Antes da atividade, 42,2% dos estudantes concordam com esta afirmação; depois da atividade são 85,7% os que concordam com a afirmação, isto é, que os valores éticos individuais influenciam os resultados dos dimensionamentos técnicos. Os estudantes que nem concordam nem discordam são de 26,3% antes da atividade e de 14,3% após a atividade. Os que discordam da afirmação (consideram que os valores éticos ou morais não interferem com os cálculos) são de 31,6% antes da atividade e de 0% após a atividade. Os resultados são apresentados na tabela 4.7.
- Afirmação E - “O resultado do dimensionamento da secção de um condutor elétrico depende dos valores morais do/a projetista, mas só no que diz respeito ao projetista decidir cumprir ou não a legislação (RTIEBT).” - Antes da atividade, 42,1% dos estudantes concordam com a afirmação; e depois da atividade só 4,8% é que concorda. Antes da atividade apenas 5,3% dos estudantes nem concordavam, nem discordavam; mas este valor subiu para 23,8% após a atividade. Antes da atividade, 52,6% dos estudantes discordavam da afirmação, e após a atividade 71,4% passaram a discordar. A tabela 4.7 mostra estes resultados.
- Afirmação F - “A engenharia é uma área técnica que se baseia em cálculos e por isso é eticamente neutra.” - Antes da atividade, 21,1% concordavam com a afirmação e após a atividade 4,8% concordavam com a afirmação (nenhum estudante escolheu a opção 5 - concordo completamente). Os estudantes que nem concordam, nem discordam são de 21,1% antes da atividade e de 19% após. Os que discordam da afirmação são de 57,9% antes e de 76,2% depois. Destaca-se que a

percentagem dos que escolheram a opção 1 (discordo completamente) aumentou após a atividade, tal como mostra a tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”).

	A		B		C		D		E		F	
escala	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós
1	15,8	55	5,3	40	15,8	47,6	21,1	0	26,3	52,4	26,3	52,4
2	31,6	15	47,4	25	31,6	28,6	10,5	0	26,3	19	31,6	23,8
3	31,6	30	31,6	25	26,3	14,3	26,3	14,3	5,3	23,8	21,1	19
4	15,8	0	5,3	5	26,3	4,8	21,1	33,3	36,8	4,8	15,8	4,8
5	5,3	0	10,5	5	0	4,8	21,1	52,4	5,3	0	5,3	0

Os estudantes também foram questionados (pergunta semiaberta) sobre o que consideravam mais importante no dimensionamento de uma instalação elétrica. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 5.7 em percentagem.

Tabela 5.7 - Percentagem dos alunos de acordo com a resposta à pergunta “O que considera mais importante no dimensionamento de uma instalação elétrica?”.

Opção escolhida:	Antes da atividade	Depois da atividade
Ter o maior tempo de vida possível para ser mais sustentável, cumprindo a legislação	73,3%	61,9%
Minimizar o uso dos recursos naturais(cobre) para ser mais sustentável, cumprindo a legislação	21,1%	14,3%
Obter a instalação mais económica possível, cumprindo a legislação	5,3%	9,5%
Cumprir a legislação (RTIEBT)	0	14,3%

Os estudantes também foram questionados sobre se concordavam ou não com a afirmação: “Os princípios éticos do/a projetista influenciam os resultados dos cálculos técnicos das instalações elétricas”. As respostas foram dadas usando uma escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”. Os resultados são apresentados na figura 5.20 em percentagem. Os resultados mostram que a opinião dos estudantes foi bastante alterada pela atividade, tendo ocorrido um aumento dos estudantes que passaram a concordar com a afirmação (antes da atividade 26,3% concordavam totalmente com a afirmação e depois da atividade 66,7% concordavam totalmente com a afirmação).

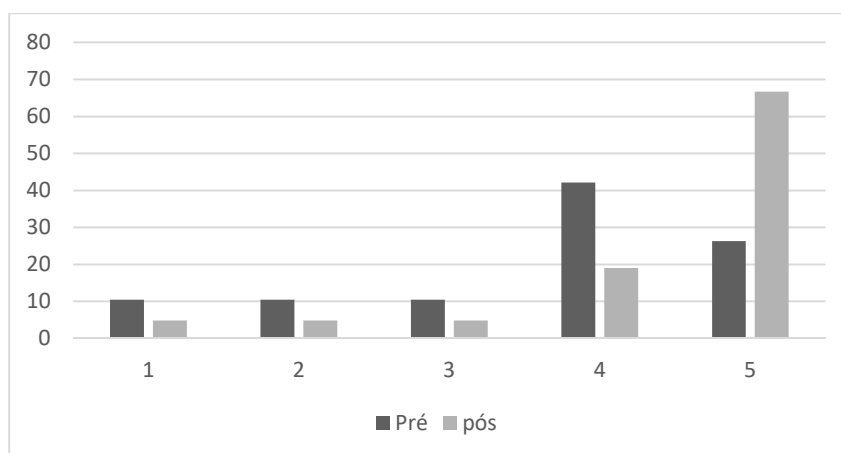


Figura 5.20 - Opinião dos estudantes sobre a afirmação: "Os princípios éticos do/a projetista influenciam os resultados dos cálculos técnicos das instalações elétricas" (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a "concordo completamente com esta afirmação" e 1 corresponde a "discordo completamente desta afirmação").

Para avaliar a vertente 2 (avaliar a eficácia da atividade do ponto de vista da aprendizagem, antes da atividade) foi pedido aos estudantes que respondessem a um conjunto de questões fechadas sobre opções técnicas, de acordo com os temas abordados na atividade pedagógica. Os resultados estão sintetizados na tabela 5.8. Estas questões foram feitas pré e pós atividade para avaliar se os estudantes já conheciam os temas antes da atividade, logo para distinguir se os aprenderam com a atividade.

Tabela 5.8 - Respostas a um conjunto de perguntas (pré e pós atividade) sobre opções técnicas relacionadas com os temas abordados na Atividade Pedagógica IE+E+S. Resultados em percentagem dos alunos. As respostas corretas estão em itálico.

	Pré (%)	Pós (%)
Um cabo de uma instalação elétrica será mais sustentável se:		
<i>A sua secção for mais elevada do que a secção mínima técnica (obtida pelos critérios das RTIEBT)</i>	47,4	85,7
A sua secção for mais baixa do que a secção mínima técnica	0	9,5
For igual à secção mínima técnica	31,6	4,8
A sustentabilidade não depende da secção	10,5	0
Não sei	10,5	0
Um cabo de uma instalação elétrica terá um tempo de vida mais longo se:		
<i>A sua secção for mais elevada do que a secção mínima técnica (obtida pelos critérios das RTIEBT)</i>	52,6	90,5
A sua secção for mais baixa do que a secção mínima técnica	0	9,5
For igual à secção mínima técnica	10,5	0
O tempo de vida do cabo não depende da secção	10,5	0
Não sei	26,3	0
O custo associado a um cabo em funcionamento numa instalação elétrica será mais baixo se:		
<i>A sua secção for mais elevada do que a secção mínima técnica (obtida pelos critérios das RTIEBT)</i>	5,3	52,4
A sua secção for mais baixa do que a secção mínima técnica	68,4	19
For igual à secção mínima técnica	15,8	19
O tempo de vida do cabo não depende da secção	5,3	9,5
Não sei	5,3	0

Os resultados da tabela 5.8 mostram que após a atividade aumentou de forma muito relevante (por exemplo, de 47,4% para 85,7%; ou de 52,6% para 90,5%; ou de 5,3% para 52,4%) após a atividade, o que mostra que esta atividade proporcionou a aprendizagem técnica pretendida. Também diminuíram as respostas na opção “não sei”, que passaram a ser zero. Apesar da melhoria significativa dos resultados após a atividade, é de notar que alguns estudantes entraram na aula numa fase muito avançada da aula, pelo que não puderam usufruir de toda a atividade. Isto e a falta de atenção de alguns estudantes, pode justificar que após a atividade persistissem algumas respostas erradas.

As aprendizagens dos estudantes também foram avaliadas tendo em conta os dados do caso de estudo apresentado durante a atividade. Para isso, os estudantes eram lembrados de que: um cabo para uma instalação industrial foi dimensionado tendo em conta os critérios definidos nas RTIEBT, nomeadamente o critério de aquecimento, o critério da queda de tensão e o dimensionamento da proteção face a sobrecargas. Estes cálculos técnicos resultaram na secção de 50mm² como a mínima que cumpre todos os critérios/cálculos técnicos. Os resultados são apresentados na tabela 5.9.

Os resultados apresentados na tabela 5.9 mostram que a maioria dos estudantes foi capaz de responder corretamente às questões colocadas. É de salientar que o facto desta avaliação não contar para a nota dos estudantes poderá levar a que alguns não se empenhem na resposta que dão, o que pode justificar algumas respostas obviamente erradas.

Após a apresentação do caso de estudo na aula, os estudantes foram questionados (usando uma pergunta fechada) sobre a eficácia do exemplo: “considera que o exemplo mostra/prova que a perspetiva ética do/a projetista influencia os resultados/opções/decisões técnicas da engenharia?” 42,9% dos alunos responderam que sim, que o exemplo é muito e convincente; 42,9% dos alunos responderam que o exemplo não os convenceu disso; 9,5% responderam que sim, apesar de terem dificuldades em acreditar nisso; 4,7% que sim, apesar de ainda terem algumas dúvidas sobre o assunto. Estes resultados mostram que apesar dos dados e cálculos técnicos, alguns estudantes têm dificuldade em aceitar hipóteses diferentes da que tinham predefinido como corretas. Apesar disso, a atividade provou ter permitido que os estudantes aprendessem sobre os tópicos abordados, e até que (na sua maioria) mudassem de opinião sobre o papel dos valores e perspetivas éticas no dimensionamento da secção de um condutor (não neutralidade ética).

Tabela 5.9 - Respostas a um conjunto de perguntas técnicas sobre o caso de estudo da Atividade Pedagógica IE+E+S. As respostas corretas estão em *itálico*. Os valores correspondem à percentagem de respostas.

Para este caso de estudo, na sua opinião, a secção mais económica a usar será:	
50mm ² porque é a mínima que cumpre os critérios técnicos e quanto menor a secção, menores são os custos	33,3%
35mm ² porque é provável que 50mm ² seja exagerado, e assim fica mais barato	0%
50mm ² porque não podemos usar nenhuma outra secção, pois foi esta a que resultou dos cálculos	9,5%
35mm ² porque é provável que a carga consuma um pouco menos que o previsto	0%
35mm ² porque nos cálculos se usa a corrente máxima e não a corrente média, e por isso	4,8%
50mm ² está sobredimensionado	
<i>Uma secção maior que 50mm² porque aumentar a secção reduz os custos</i>	47,6%
Uma secção menor que 50mm ² porque quanto menor é a secção, menores são os custos	0%
Não sei	4,8%
Para o mesmo caso de estudo: na sua opinião, a secção ambientalmente mais sustentável será:	
50mm ² porque não se pode usar outra	0%
35mm ² porque usa-se menos cobre, logo menos recursos naturais, e por isso é mais sustentável	4,8%
50mm ² porque é a menor quantidade de cobre que se pode usar	14,3%
<i>Uma secção maior que 50mm² porque aumentar a secção reduz o consumo de energia ao longo do tempo</i>	61,9%
Uma secção menor que 50mm ² porque reduzir a secção reduz o impacto ambiental do fabrico do cabo	14,3%
Uma secção menor que 50mm ² porque diminuir a secção reduz o consumo de energia ao longo do tempo	4,8%
Não sei	0%
Para o mesmo caso de estudo: na sua opinião, a secção que aumenta o tempo de vida do cabo será:	
50mm ² porque é a que resulta dos cálculos técnicos	0%
35mm ² porque haverá menor diferença entre a corrente de serviço (I_B) e a corrente máxima admissível pelo cabo (I_z)	4,8%
<i>Uma secção maior que 50mm² porque haverá maior diferença entre a corrente de serviço (I_B) e a corrente máxima admissível pelo cabo (I_z)</i>	52,4%
50mm ² porque alterar a secção não tem impacto no tempo de vida do cabo	0%
35mm ² porque haverá maior diferença entre a corrente de serviço (I_B) e a corrente máxima admissível pelo cabo (I_z)	4,8%
Uma secção maior que 50mm ² porque haverá menor diferença entre a corrente de serviço (I_B) e a corrente máxima admissível pelo cabo (I_z)	38,1%
Uma secção menor que 50mm ² porque haverá menor diferença entre a corrente de serviço (I_B) e a corrente máxima admissível pelo cabo (I_z)	0%
Não sei	0%

5.4 - Caso de aplicação: interligar veículos elétricos, ética e sustentabilidade (Atividade Pedagógica VE+E+S)

Uma das atividades pedagógicas (designada de Atividade Pedagógica VE+E+S) de interligação entre conteúdos técnico-científicos e ética que foi desenvolvida seguindo o framework proposto partiu da necessidade de consciencializar os estudantes para a importância de se estudarem as potenciais consequências negativas que podem resultar do uso da tecnologia (desenvolvida pela engenharia), ou do desenvolvimento de novas tecnologias. E responsabilidade dos profissionais da engenharia pela tecnologia que desenvolvem e pelas eventuais consequências nefastas que

possam causar está explícita nos deveres éticos e deontológicos aplicados ao exercício profissional da engenharia [17]:

“No exercício da sua profissão, os engenheiros são responsáveis pelos atos que pratiquem e pelos resultados que deles decorram (...)”

“Os engenheiros devem ter em conta as implicações que resultem da sua atuação, tanto para a comunidade da engenharia e para as instituições da sociedade, como para empregadores, colaboradores, clientes e utilizadores de tecnologia (...)”

“Os engenheiros devem usar de prudência, tanto nas soluções técnicas, como no desenvolvimento tecnológico e na inovação, responsabilizando-se pela qualidade, fiabilidade e segurança dos produtos e processos técnicos concebidos ou executados, promovendo a criação de valor económico e social de forma sustentável.”

“A responsabilidade dos engenheiros abrange não só a documentação técnica, como a informação aos clientes, aos utilizadores e às demais partes interessadas, incluindo, designadamente: – a utilização apropriada das soluções propostas ou realizadas e os possíveis perigos do seu mau uso; – as características técnicas dos produtos e processos em questão; – o uso indevido e intencional desses produtos e processos; – a sugestão de abordagens alternativas; – a possibilidade de desenvolvimentos indesejados.”

“Os engenheiros estão cientes das implicações da integração de sistemas técnicos no contexto social, económico e ambiental, razão pela qual, no desenvolvimento de novas tecnologias, se preocupam com critérios e valores, tais como: – a sustentabilidade dos sistemas técnicos nelas baseados, em todo o seu ciclo de vida; – a adequação ao uso e a segurança; – a contribuição para a saúde e bem-estar dos cidadãos; – o desenvolvimento pessoal no sentido do bem comum. A orientação fundamental na criação de novas soluções tecnológicas será a de manter em aberto, tanto para as gerações atuais como para as vindouras, a possibilidade de ação livre e responsável.”

“(...) Por isso, os engenheiros não devem criar produtos que tenham como objetivo utilizações não éticas, nem participar na criação de soluções que, verosimilmente, possam constituir riscos incontrolláveis ou provocar danos significativos.”

“Os engenheiros têm consciência dos efeitos da introdução de sistemas tecnológicos no contexto social, económico e ambiental e do seu impacto nas vidas das gerações futuras, orientando a sua ação no sentido da salvaguarda do bem comum.”

Perante estes deveres deontológicos, cabe aos profissionais da engenharia procurar avaliar as potenciais consequências positivas e negativas da sua ação e da tecnologia que desenvolvem, tendo em conta vários contextos, nomeadamente o social, o económico e o ambiental. A dimensão ambiental é reforçada por diversas vezes nos deveres deontológicos [17]: “Os Engenheiros devem interiorizar e assumir sólidos princípios de sustentabilidade económica,

social e ambiental, com a perfeita noção do carácter finito dos recursos que nos foram legados e da sua defesa e proteção.”

Para agir de forma responsável, é necessário procurar identificar possíveis consequências da criação de uma nova tecnologia e ponderar da sua gravidade. A identificação das possíveis consequências deve ser feita de forma criteriosa e tendo em conta que haverá sempre consequências que não serão possíveis de identificar, mas isso não deve diminuir o empenho e o sentido de responsabilidade em procurar identificar as que são possíveis de identificar.

A identificação das diversas consequências que podem ocorrer nos contextos social, económico e ambiental requer uma perspetiva de análise macro (alargada / abrangente), pois uma perspetiva micro pode condicionar a investigação e deturpar a interpretação dos resultados (aparentes) ou condicionar as decisões. Uma perspetiva micro não permite identificar possíveis consequências, e, como tal, constitui uma grave falha nos deveres éticos e deontológicos dos profissionais da engenharia.

Sendo que as potenciais consequências resultam da interação de uma tecnologia com os contextos sociais, económicos e ambientais, é necessário usar uma perspetiva macro pois tratam-se de sistemas e de interações complexas. Para evidenciar a importância de analisar as consequências de uma nova tecnologia de forma macro, e os erros graves que podem resultar de uma microanálise, foi desenvolvido um exemplo de estudo na área dos veículos elétricos. Este problema de visão (micro-visão / macro-visão) é uma importante e frequente fonte de erros na engenharia (na criação de novas tecnologias) e com graves consequências.

A designação de micro ética é atualmente usada para referir-se à ética aplicada à ação individual [264], no presente estudo, dos profissionais da engenharia: “micro-ethics concerns problems internal to the professional world of engineers, such as conflicts of interest, intellectual property, and whistleblowing.” [325, p. 2]. A designação de macro ética [156] [326] envolve uma análise macro da ação da engenharia/tecnologia: “macroethics referring to the profession’s collective social responsibility and to societal decisions about technology” [327, p. 374]. Também há quem defenda que não há uma distinção clara entre micro e macro ética, “because internal to any given profession is a moral ideal that gives the profession its *raison d’être*. For example, promoting health might be seen as an ideal for medicine, altering the natural world through applied science to solve human problems an ideal for engineering” [325, p. 4].

O desenvolvimento de novas tecnologias envolve um complexo potencial de interação com os contextos social, económico e ambiental que não pode prescindir de uma perspetiva e análise macro ética, nomeadamente no que diz respeito às potenciais consequências nefastas que podem ocorrer, bem como dos potenciais benefícios; mas também às consequências das interações que podem resultar (análise numa macro perspetiva). A dimensão ética está fortemente patente no facto de poderem ocorrer situações de conflitos que obrigam a uma tomada de decisão, que é sempre baseada em critérios, isto é, valorizações de valores éticos.

Os deveres deontológicos dos profissionais obrigam a que os profissionais da engenharia ao desenvolverem tecnologia, o façam com responsabilidade à escala das ações individuais, mas também tendo em conta as potenciais consequências e interações entre a dimensão técnica, social, económica e ambiental. Logo, é dever do profissional da engenharia incluir uma análise micro (focada num pequeno elemento ou parte do sistema técnico), mas também uma visão e análise de todo o sistema, das interações entre as partes e das potenciais consequências do uso da tecnologia (macro perspetiva).

O desenvolvimento da Atividade Pedagógica VE+E+S seguiu a opção B do framework proposto no ponto 5.2 (resumido na figura 5.3), com o objetivo de ser aplicada numa unidade curricular específica de formação ética de um curso de engenharia eletrotécnica. Os principais passos da sequência da construção da atividade pedagógica foram:

Aplicação do 1º passo: identificar/definir qual a competência geral ética que se pertence promover

Objetivo geral da atividade pedagógica: mostrar que no desenvolvimento responsável de novas tecnologias, é necessário considerar uma macro análise de sistemas complexos, pois uma perspetiva micro pode condicionar e deturpar a interpretação dos resultados (aparentes) e condicionar as decisões ou induzir em erro ou consequências nefastas. Um dos domínios onde a análise macro é fundamental (e complexa) é no domínio da sustentabilidade ambiental.

Aplicação do 2º passo: identificar quais os conteúdos técnico-científicos que se adequam

As áreas que mais se adequam a este objetivo são as do tipo “Conteúdos sobre tecnologias emergentes”.

Aplicação do 3º passo: identificar qual o conteúdo técnico-científico específico em que se vai implementar

Perante o elevado número de tecnologias emergentes, optou-se por uma tecnologia bastante conhecida da área da eletrotecnia, e que já está no mercado, e que por isso é do conhecimento geral dos estudantes: optou-se pela área dos veículos elétricos (VE). Esta área tem a vantagem de se interligar com a sustentabilidade e de ser atualmente considerada como promissora para a atenuação do problema da insustentabilidade ambiental, no que diz respeito à área dos transportes. Apesar dos veículos elétricos já estarem no mercado, a sua utilização em larga escala levanta problemas técnicos que impõem o estudo e desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, o que faz desta uma tecnologia emergente. Ou seja, o conteúdo técnico-científico escolhido não é apenas o veículo elétrico individualmente, mas a sua utilização em larga escala e as soluções técnicas para o abastecimento/interligação com o Sistema de Energia Elétrica (SEE).

Aplicação do 4º passo: definir qual a competência que se pretende promover

Tendo por base os passos anteriores, as competências que se esperam que os estudantes desenvolvam são:

- Identificar os problemas que a integração de veículos elétricos em larga escala pode trazer, nomeadamente ao SEE (Memorizar)
- Explicar as soluções propostas na literatura (Compreender)
- Comparar as várias propostas (Analisar)
- Selecionar e justificar qual consideram a melhor opção e porquê (Avaliar)
- Distinguir entre micro e macro perspetiva (Memorizar)
- Identificar os problemas de cada proposta da literatura (Compreensão)
- Criticar cada uma das propostas da literatura (Análise)
- Avaliar as propostas disponíveis numa perspetiva macro (Avaliar)

Aplicação do 5º passo: definir os objetivos pedagógicos necessários para o desenvolvimento da competência definida

Os objetivos definidos para cada competência foram:

- Identificar os problemas que a integração de veículos elétricos em larga escala pode trazer, nomeadamente ao SEE (Memorizar)
 - Identificar as opções técnicas para carregamento de veículos elétricos
 - Identificar as implicações técnicas que o carregamento de veículos elétricos em larga escala pode trazer ao SEE
- Explicar as soluções propostas na literatura (Compreender)
 - Identificar as soluções propostas na literatura
 - Analisar como é que cada uma pretende resolver os problemas e quais problemas
- Comparar as várias propostas (Analisar)
 - Identificar as características de cada proposta da literatura
 - Definir critérios (valores) para classificar
- Selecionar e justificar qual consideram a melhor opção e porquê (Avaliar)
 - Definir ponderações para cada critério (valor)
 - Argumentar a escolha das ponderações e, por isso, da escolha
- Distinguir entre micro e macro perspetiva (Memorizar)
 - Identificar a existência da visão micro e macro
 - Compreender as limitações ou características de cada uma
- Identificar os problemas de cada proposta da literatura (Compreensão)
 - Classificar cada uma das propostas de acordo com a perspetiva micro ou macro
- Criticar cada uma das propostas da literatura (Análise)

- Identificar os problemas de “visão” que cada proposta pode ter
- Avaliar as propostas disponíveis numa perspetiva macro (Avaliar)
 - Identificar os valores que cada proposta tenta promover e os valores que não foram considerados por não se usar uma perspetiva macro
 - Identificar possíveis consequências desse erro de “visão” para cada solução proposta na literatura

Aplicação do 6º passo: Desenvolvimento da atividade pedagógica

A atividade pedagógica desenvolvida (designada Atividade Pedagógica VE+E+S) foi aplicada numa aula da unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia (2ºano, 1º semestre) no ano letivo de 2024/2025 da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do ISEC. A atividade foi pensada tendo em conta que nesta fase do seu percurso académico, os estudantes ainda não têm nenhuma formação sobre veículos elétricos ou redes inteligentes (smart grids).

Como o tempo disponível para aplicar a atividade era muito curto, optou-se por recorrer a uma atividade que fomenta a interatividade e a reflexão em grupo. A atividade gera momentos de aprendizagem (pela leitura e análise em grupo de textos e dados quantitativos), de interatividade e debate em grupo, e de reflexão e fundamentação em grupo (porque define momentos de tomada de decisão fundamentada). Para incentivar os alunos a empenharem-se na atividade, foi feito um enquadramento (narrativa) de modo a que os estudantes assumissem o papel de peritos da área da engenharia eletrotécnica que vão aconselhar as entidades responsáveis pela tomada de decisão política. Por este motivo, trata-se de uma atividade do tipo “role playing”, mas é baseada em factos reais. A narrativa vai orientando os passos e etapas da atividade, e inclui um conjunto de questões/tomadas de decisão ao longo do processo que servem de pontos para a reflexão, mas também orientam o progresso dos estudantes.

Foram recolhidos dados antes e após a atividade para fazer a avaliação da eficácia pedagógica da atividade, uma vez que esta atividade se enquadrava num estudo sobre a sua adequabilidade para a promoção das competências e objetivos pretendidos. Segundo [199], o uso de inquéritos pré e pós atividade é um método adequado para avaliar novas atividades pedagógicas.

A figura 5.21 resume as etapas e a estrutura da atividade pedagógica construída e mostra as suas principais características interligando-as com os objetivos pedagógicos propostos.

O desenvolvimento da atividade implicou desenvolvimentos técnicos, pelo que se baseia nos dados técnicos publicados no artigo [328] e que são descritos no ponto 5.7. É uma atividade do tipo “role playing”: os estudantes vão assumir o papel de peritos da área da engenharia eletrotécnica, e vão fazer recomendações às entidades públicas sobre a melhor solução tecnológica. A atividade foi implementada com 5 grupos (4-6 estudantes em cada grupo). Ao longo da atividade os estudantes vão respondendo a várias questões, de modo a tornar a

atividade bastante ativa. Após o inquérito pré-atividade foram formados os grupos e depois foi apresentada a narrativa de enquadramento. As etapas da Atividade Pedagógica VE+E+S foram:

1. Inquérito pré-atividade
2. Formação dos grupos
3. Apresentação da narrativa inicial: Perante o problema da insustentabilidade ambiental e das alterações climáticas, a União Europeia decidiu tomar decisões que reduzam as emissões de CO₂ em 80% até 2050. Como o sector dos transportes é responsável por cerca de ¼ das emissões da União Europeia, esta é uma área em que se pretende alcançar uma grande redução. Dentro dos vários tipos de transportes, o setor rodoviário causa 19% do total das emissões de CO₂ na União Europeia.
 - 1ª questão- Qual é a vossa proposta para resolver o problema das emissões de CO₂ resultantes dos transportes, especialmente dos veículos ligeiros de passageiros? - 3min
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.

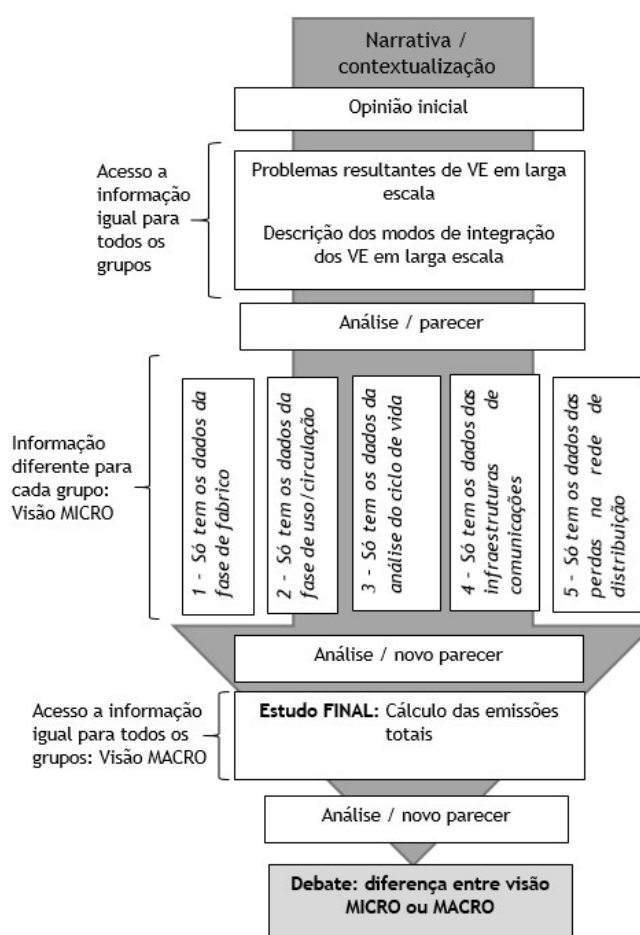


Figura 5.21 - Resumo das etapas e da estrutura da Atividade Pedagógica VE+E+S.

4. Narrativa: Por causa das elevadas emissões dos transportes, o Parlamento Europeu aprovou legislação que prevê que a partir de 2035 deixem de ser vendidos novos veículos que funcionem a gasolina ou a gasóleo [329]; isto é, que todos os carros produzidos sejam livres de emissão de CO₂ [330]. Em resultado desta legislação, estão a ser construídas ou reconvertidas fábricas automóveis para produzir veículos elétricos. Mas, há pressões de vários países para que continuem a ser permitidos veículos de combustão interna para além de 2035. Os responsáveis não sabem o que fazer perante as várias pressões dos que querem que se acabem com os veículos tradicionais (com motores de combustão interna), e dos que querem que estes automóveis continuem a ser produzidos e vendidos. Para tomar uma decisão tecnicamente fundamentada, foram contratados engenheiros para ajudar a decidir qual será a melhor solução. Como estão em causa veículos elétricos, e como alguns dos opositores aos veículos elétricos referem os problemas que estes podem causar ao sistema de energia elétrica se forem ligados em larga escala, foram contratados engenheiros eletrotécnicos (que são vocês). Por isso, a vossa missão é aconselhar as entidades europeias a tomar a melhor decisão. Cada grupo vai ter acesso a um conjunto de informações que constam nos relatórios da equipa anterior e poderá construir a partir dessas informações a sua recomendação. Têm 10 min para estudar os relatórios e para elaborar um parecer.
5. Nesta etapa todos os grupos têm acesso aos mesmos relatórios. Os conteúdos dos “relatórios” e dos “Estudos” correspondem à tradução de partes do artigo: [328]
 - Relatório 1 - faz o enquadramento do problema
 - Relatório 2 - faz o enquadramento das redes inteligentes e interliga-as com os veículos elétricos (VE)
 - Relatório 3 - descreve os problemas que os VE em larga escala podem trazer ao sistema de energia elétrica e descreve o modo “sem controlo” (SC)
 - Relatório 4 - descreve o modo “com condicionamento, mas sem controlo” (CC-SC)
 - Relatório 5 - descreve o modo V2G
 - Relatório 6 - descreve o modo G2V
 - Relatório 7 - apresenta uma síntese dos vários modos
 - 2ª questão - Qual é o vosso parecer? Que solução vos parece melhor (ou seja, qual recomendam)?
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.
6. Narrativa: Os relatórios a que tiveram acesso focam um problema: os impactos da interligação de VE em larga escala no sistema de energia elétrica. Mas, também chegou à União Europeia outro tipo de problemas e dúvidas, nomeadamente sobre se os VE

serão ou não ambientalmente mais sustentáveis do que os VCI (veículos de combustão interna).

- 3ª questão - O que é que vocês acham: os VE são ou não mais sustentáveis que os VCI? Cada grupo tem 2min para tomar uma decisão/posição e justificá-la.
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.
- 7. Narrativa: Esta é a vossa opinião. Mas, para podermos fazer uma recomendação fundamentada e responsável não nos podemos limitar a uma opinião, precisamos de dados.
 - 4ª questão - Como é que acham que se pode provar se os VE são (ou não) ambientalmente mais sustentáveis que os VCI? Cada grupo tem 2min para tomar uma decisão/posição e justificá-la.
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.
- 8. Narrativa: Para podermos tirar uma conclusão, precisamos de calcular uma grandeza que traduza o nível de sustentabilidade ambiental, quer para os VE, quer para os VCI, para depois compararmos. Uma grandeza adequada é o valor das emissões de CO₂. Para ajudar a tomar a decisão final sobre esta questão, vocês terão acesso a mais documentos de estudos internacionais sobre as emissões de CO₂. Têm 10 min para os analisar.
- 9. Neste passo, cada grupo terá acesso só a uma parte dos documentos e todos serão diferentes.
 - 1 - Só inclui os dados da fase de fabrico
 - 2 - Só inclui os dados da fase de uso/circulação
 - 3 - Só inclui os dados da análise do ciclo de vida (total)
 - 4 - Só inclui os dados das infraestruturas de comunicações
 - 5 - Só inclui os dados das perdas na rede de distribuição
 - 5ª questão - Os VE são ou não mais sustentáveis que os VCI? Porquê?
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.
- 10. Narrativa: Os relatórios a que tiveram acesso focam um aspeto micro da análise. Mas, agora vou-vos dar um documento com uma visão complementar. Têm 10 min para o analisar e tomarem a vossa decisão final.
 - 6ª questão - Qual é a vossa decisão final? Porquê?
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.

11. Narrativa: Porque será que os pareceres são tão diferentes? Falta ainda terem acesso a um relatório final. Têm 5min para o analisarem.
12. Distribuir estudo final: Cálculo das emissões totais (todos os grupos têm a mesma informação)
 - 7^a questão - Querem mudar de opinião?
 - Cada grupo apresenta a sua recomendação e fundamenta a sua decisão.
 - Registrar: (por exemplo, no quadro) qual a decisão de cada grupo.
13. Debate sobre a visão micro e macro do ponto de vista técnico e ético: agir com responsabilidade implica também ter uma perspetiva macro
14. Inquérito pós-atividade

No ponto 5.7 apresentam-se os desenvolvimentos técnicos que foram necessários para a construção e aplicação da Atividade Pedagógica VE+E+S; e no ponto 5.8 apresentam-se os resultados da atividade.

5.4.1 Desenvolvimentos técnicos para a Atividade Pedagógica VE+E+S

Para desenvolver a Atividade Pedagógica VE+E+S foi necessário fazer o estudo e cálculo das emissões de CO₂ resultantes da integração de veículos elétricos em larga escala usando uma macro perspetiva. Este estudo foi publicado no artigo: Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). CO₂ Emissions Resulting from Large-Scale Integration of Electric Vehicles Using a Macro Perspective. Applied Sciences, 14(14):6177. <https://doi.org/10.3390/app14146177>; pelo que o presente ponto corresponde aos conteúdos do referido artigo.

5.4.1.1 Enquadramento

Perante o problema da insustentabilidade ambiental e das alterações climáticas, várias soluções tecnológicas foram sugeridas para promover a sustentabilidade, de entre as quais as redes inteligentes (smart grids). Com a intenção de promover a sustentabilidade, muitos investigadores têm investigado esta área [331] e várias entidades têm feito grandes investimentos nesta área, nomeadamente em infraestruturas [332]. Vários projetos em diferentes partes do mundo tentam provar que é possível implementar as redes inteligentes e que estas são vantajosas [333].

A designação de redes inteligentes (smart grids) engloba um conjunto vasto de áreas e sistemas complexos que incluem sistemas de comunicação, sensores e atuadores, recolha,

processamento e armazenamento de dados [334] [305], bem como sistemas de controlo automático [335], usando a internet das coisas (IOT) e a inteligência artificial (IA) para melhorar a gestão de todo o sistema de energia elétrica [336]. O desenvolvimento das redes inteligentes tem por motivação o facto das redes tradicionais estarem eventualmente envelhecidas, a importância de promover um sistema mais sustentável e o aumento previsível do consumo e das exigências de qualidade de serviço dos consumidores [333]. As expectativas depositadas nas redes inteligentes são de tal modo elevadas que Palensky and Kupzog [333] consideram que “Smart grids are expected to make our power system more resilient, ‘green,’ and efficient”.

No entanto, para implementar as redes inteligentes o investimento necessário é muito elevado, especialmente em tecnologias e infraestruturas de comunicações e de informação [333]. Tal investimento (monetário e em investigação e desenvolvimento) só se justifica se as vantagens das redes inteligentes forem claras e com grandes impactos. Para o USA Department of Energy [337], as redes inteligentes contribuem para a sustentabilidade e para os objetivos climáticos, destacando que “smarter grid works as an enabling mechanism for our economy, our environment and our future”.

De entre o vasto leque de áreas que se enquadram nas redes inteligentes, uma das áreas muito investigada e publicada em revistas científicas é a da integração de veículos elétricos em larga escala no sistema de energia elétrica [338]. Para [331], foram os veículos elétricos que justificaram o desenvolvimento/projeto das redes inteligentes: “The integration of EVs with electrical grids is giving rise to the concept of smart grids”. No presente texto, os veículos exclusivamente elétricos e os Plug-in Hybrid serão todos designados por VE.

O desenvolvimento de veículos elétricos (na sua versão contemporânea) deveu-se principalmente ao objetivo de reduzir as emissões de CO₂. De acordo com as metas da União Europeia, as emissões de CO₂ terão de ser reduzidas em 80% até 2050 [339] para se alcançar a sustentabilidade e reduzir os impactos no meio-ambiente.

Na União Europeia, o setor dos transportes é responsável por ¼ das emissões de CO₂ [340]; e os transportes rodoviários são responsáveis por cerca de 76% das emissões do sector dos transportes (ou seja, cerca de 19% do total das emissões da União Europeia). Dos transportes rodoviários, cerca de 60,6% são veículos ligeiros de passageiros (carros domésticos) que, em média, transportam 1,6 passageiros [341]. Tendo por referência o valor total de emissões da União Europeia em 2022, os veículos ligeiros de passageiros foram responsáveis por 369,8 MtCO₂e. Este elevado valor é uma forte motivação para se encontrar uma opção mais sustentável para o transporte ligeiro de passageiros. É neste objetivo que se enquadram os VE, que, para [342], “offer zero-emission benefits and reduced reliance on fossil fuels”, pelo que são apontados como a tecnologia fundamental para tornar os transportes sustentáveis. Outra grande vantagem dos VE é reduzir a poluição do ar nas cidades, uma vez que não libertam os poluentes que os veículos de combustão interna (VCI) libertam [339] [343]. Por outro lado, se

se usar eletricidade produzida a partir de fontes renováveis, também se reduz a dependência dos combustíveis fósseis [331], pelo que “EV industry has been prominently used as a tool by countries to meet their carbon-footprint-reduction goals” [331].

Apesar dos muitos benefícios que a literatura atribui aos VE, a integração de VE em larga escala pode ter um grande impacto nos sistemas de energia elétrica [344]. Devido a este complexo problema, vários investigadores procuraram encontrar a melhor solução que permita a integração de VE em larga escala.

Se os VE forem diretamente ligados à rede sem nenhum sistema de controlo e em larga escala, estes vão ligar-se e desligar-se de forma aleatória à rede (dependente apenas da vontade dos seus proprietários e de estes acharem que os VE precisam de ser carregados). Neste caso, o aumento do consumo devido ao carregamento dos VE vai causar [331] [345]:

- um aumento das perdas na rede,
- um aumento do congestionamento em determinados condutores e transformadores,
- vai haver mais instabilidade na rede (devido às entradas e saídas aleatórias/imprevisíveis dos VE),
- vão aumentar as sobrecargas
- vai diminuir a tensão em determinados nós da rede
- vai aumentar a dificuldade de gerir a rede.

Perante estas possíveis consequências, [331] defendem que haverá uma deterioração das infraestruturas e da qualidade de serviço da rede. Apesar destes problemas, este modo de funcionamento do sistema tem as grandes vantagens de permitir liberdade para que os proprietários dos VE liguem e desliguem (ou seja, façam livre uso) dos seus VE [346]; de requerem muito menos novas infraestruturas que os outros modos de funcionamento propostos na literatura; e de que as baterias sejam carregadas apenas quando necessário, minimizando os seus ciclos de carga/descarga [346], o que aumenta o seu tempo de vida, logo causa menos emissões. Este modo de funcionamento será designado como modo de funcionamento “sem controlo” (SC). Neste modo, os VE só servem para o objetivo de transportar pessoas/mercadorias e têm o benefício de reduzir a poluição do ar, uma vez que não emitem gases de escape.

Perante os problemas causados pelo modo de funcionamento SC, vários investigadores propõem que os proprietários devem ser incentivados ou até forçados a carregar os seus VE quando é mais conveniente e do modo mais conveniente para o sistema de energia [347], de modo a evitar os efeitos nefastos sobre a rede. Para conseguir condicionar o comportamento dos proprietários sobre quando e como carregar os seus VE, podem ser usados os preços da energia elétrica. Este condicionamento deve ser feito de modo a que os VE sejam carregados durante as horas de vazio, o que até se pode tornar benéfico para a rede. Neste estudo, este modo de funcionamento será designado por “com condicionamento, mas sem controlo” (CC-SC).

Outros investigadores propõem que os VE sejam usados para transporte e também para regular os consumos nas horas de pico ou de vazio. Para isso, propõem que as baterias dos VE sejam usadas para benefício do sistema de energia elétrica, servindo de sistemas de armazenamento temporário do excesso de energia elétrica nos picos de produção, e devolvendo essa energia à rede quando necessário [331]. Este modo de funcionamento foi designado por “vehicle-to-grid (V2G)”. Neste modo de funcionamento, o uso de VE não se limita ao transporte e à redução da poluição do ar, mas abrangem muitos outros objetivos benéficos para o sistema de energia elétrica [331]. Para que este modo de funcionamento seja possível, é necessário que os VE estejam ligados à rede sempre que possível, isto é, sempre que não estão em circulação (embora alguns investigadores proponham o desenvolvimento de tecnologia “wireless” para que os VE estejam ligados à rede mesmo quando andam em circulação). Mas, não chega ter os VE ligados à rede, é também necessário que exista um sistema de controlo inteligente centralizado que regule e faça a gestão das cargas e descargas das baterias dos VE [348].

Os investigadores [349] defendem que usando o V2G é possível eliminar todos os problemas resultantes do modo SC e ainda obter outras vantagens. Para [345] as principais vantagens deste modo de funcionamento (V2G) é usar-se os VE como fornecedores de serviços auxiliares, como sistema de armazenamento de energia (desejavelmente de energia renovável); como um regulador de carga nas horas de vazio (carregando) e nos picos (descarregando); como regulação da tensão e da frequência; e como fonte de rentabilidade económica nas trocas de energia com a rede, se se carregar a bateria nas horas de preço mais baixo e se descarregar nas horas de preço elevado, se o saldo for de venda de energia à rede. [350] também enfatizam que este modo de funcionamento pode trazer grandes benefícios económicos para a rede e os seus operadores. Neste modo, os VE são geridos e considerados como centrais virtuais de produção de eletricidade [351].

Apesar dos muitos benefícios atribuídos ao modo V2G, [346] alerta que a grande desvantagem é que o controlo dos VE não é feito pelos proprietários, mas pelo sistema. Isto levanta preocupações aos proprietários, pois receiam que os VE não tenham carregamento/autonomia suficiente se precisarem dele numa situação de urgência (não programada). Este problema também levanta sérias questões éticas, pois por um lado o proprietário não tem controlo sobre o VE que é sua propriedade, e por outro lado, se não houver nenhum tipo de controlo podem ocorrer efeitos nefastos no sistema de energia elétrica. Os estudos de [352] e [346] também referem que o modo V2G tem a desvantagem de poder causar mais danos nas baterias dos VE, pois neste modo de funcionamento as cargas e descargas são frequentes, o que pode causar mais impactos ambientais e emissões de CO₂ devido à degradação adicional das baterias e à sua substituição.

Para além destes problemas, o modo V2G coloca o grande desafio de desenvolver e implementar um complexo e elevado investimento em infraestruturas tecnológicas,

especialmente para promover as comunicações e o controlo entre os componentes do sistema; a aquisição, processamento e armazenamento de dados; e para todo o fluxo bidirecional de dados e de energia. Muita desta tecnologia tem que ter características muito específicas e ainda está a ser estudada e/ou desenvolvida.

Na literatura existe também a proposta do modo de funcionamento em que há controlo dos carregamentos, mas de forma descentralizada. Este modo foi chamado de "grid-to-vehicle (G2V)". Este modo de funcionamento dá um controlo parcial ao proprietário do VE [353], pelo que já não será viável usar os VE como fornecedores de serviços auxiliares, ou para o controlo de frequência ou de tensão e nem para a regulação da carga entre as horas de pico e de vazio.

O fato dos proprietários ficarem com o controlo sobre os VE leva a esperar que ocorra um aumento do consumo nas horas de pico, o que pode causar sobreaquecimentos nos transformadores [353] e a imprevisibilidade dos consumos dos VE podem também aumentar os riscos de sobrecarga das linhas. Apesar disso, o modo G2V tem a vantagem de requerer menos infraestruturas de comunicações e controlo, pois só será necessário que haja a avaliação da segurança de modo a evitar que sejam ultrapassados os limites técnicos dos cabos. Neste modo, o proprietário decide quando pretende que o seu VE seja ligado à rede para ser carregado, mas tal só vai ocorrer se nenhum limite da rede for detetado. Caso contrário, o será condicionado para que os limites técnicos de segurança não sejam ultrapassados.

No modo SC os VE são considerados cargas inelásticas, pois não aceitam adiar o seu carregamento em função do preço da eletricidade. No modo V2G são considerados cargas elásticas, uma vez que condicionam carregar ou descarregar em função do preço. No modo G2V ou CC-SC, os EV são considerados como cargas parcialmente elásticas, uma vez que aceitam adiar o seu carregamento, mas não descarregar, em função do preço da eletricidade ou dos congestionamentos da rede.

5.4.1.2 O uso de EV em larga escala é ambientalmente mais sustentável? Perspetiva micro versus macro

Para [331], a grande vantagem dos VE é serem ambientalmente mais sustentáveis que os VCI, pelo que é imprescindível provar tal facto.

Vários estudos alertam que os VE também têm aspetos negativos, como maior toxicidade para os humanos que os VCI, e maior impacto no meio ambiente aquando da sua produção (EEA, 2019) [354].

São várias publicações e estudos que referem que os VE são ambientalmente mais sustentáveis que os VCI, mas tal é referido ou considerado apenas do ponto de vista teórico [337]. Outros estudos apresentam os benefícios dos VE mas considerando apenas uma dimensão de análise micro; isto é, um pequeno aspeto associado com os VE, como a bateria, ou o conversor. Um exemplo de uma análise micro é considerar que, porque os VE não libertam

gases de escape, então são menos poluentes e têm menos emissões de CO₂, logo são mais sustentáveis [342]. Esta é uma análise micro, porque apenas tem em conta um pequeno aspeto dos VE, e não tem em conta o todo (foca-se e tira-se conclusões sobre o todo a partir de uma micro-parte). Contudo, analisar numa escala micro (limitada a um aspeto específico e circunscrito) não permite concluir sobre o global (escala macro).

Como a insustentabilidade ambiental é um grave problema para a Humanidade (presente e futura), é muito importante avaliar se os VE realmente contribuem para a sustentabilidade ambiental em comparação com o VCI. Para tentar responder a esta questão, vários estudos analisaram as emissões de CO₂ numa dimensão um pouco mais abrangente, mas, mesmo assim ainda circunscrita (micro): emissões devidas ao ciclo de vida de um VE [355]; ou as emissões devidas às infraestruturas tecnológicas que são necessárias para as comunicações numa rede inteligente [356]. Apesar destes importantes estudos, não se encontraram na literatura estudos que focassem as emissões dos VE numa perspetiva global (macro) no caso de ocorrer uma integração de VE em larga escala.

Na situação do uso de VE em larga escala, isso causará um vasto e complexo impacto que extravasa aspetos técnicos do sistema de energia elétrica, pelo que é necessário ter em conta toda uma visão global, isto é, uma macro análise para se poder avaliar se os VE são mais sustentáveis que os VCI. Para [331], são necessários mais estudos para tentar estimar e compreender os impactos dos VE em larga escala. E para tal, é necessário passar de uma micro para uma macro perspetiva. Uma análise micro pode induzir em erro, porque pode levar a extrair conclusões sem que se tenham tido em conta todas as interações e fenómenos que vão ocorrer. Com o objetivo de colaborar nesta procura por estudar a sustentabilidade ambiental da integração de VE em larga escala, desenvolveu-se um estudo numa macro perspetiva focado no cálculo das emissões de CO₂.

5.4.1.3 Objetivos específicos e metodologia

Tendo por base o enquadramento descrito, definiu-se a seguinte questão de investigação específica deste ponto: o uso de VE em larga escala é ambientalmente mais sustentável que o uso de VCI?

Para responder a esta questão é necessário considerar todos os impactos diretos e os indiretos que os VE podem causar nos diversos domínios e ter em conta todo o seu ciclo de vida (“do berço, à cova”). Tal implica uma macro análise e uma macro visão dos possíveis impactos, tendo em conta o todo e as abrangentes e complexas interações que resultarão.

A avaliação/medição da sustentabilidade ambiental pode ser feita usando vários parâmetros, tais como a pegada ecológica ou as emissões de CO₂. Tendo em conta o contexto e características do presente estudo, considerou-se mais adequado usar as emissões de CO₂ como um indicador do nível da sustentabilidade ambiental, pois as emissões de CO₂ são uma

grandeza quantificável e que é facilmente convertida a partir da energia elétrica, pelo que é frequentemente usada nesta área [357].

Para estruturação do estudo, a questão de investigação específica deu origem a objetivos:

1. Identificar as várias fontes de emissões de CO₂ e criar um framework para facilitar o cálculo, numa macro perspetiva, das emissões associadas com o uso de VE em larga escala;
2. Calcular as emissões de CO₂ resultantes do uso de VE em larga escala, numa macro perspetiva, usando o framework desenvolvido;
3. Comparar as emissões de CO₂ obtidas para os VE com as dos VCI.

Metodologicamente foram implementados os seguintes passos de modo a alcançar os objetivos definidos:

1. Para criar o framework:
 - Foi feita uma revisão da literatura não sistemática, focada nos estudos publicados em revistas científicas sobre como integrar VE em larga escala nos sistemas de energia elétrica. Nesta revisão usou-se a plataforma B-on e Google Scholar.
 - Da revisão feita, foram identificados os vários modos de integração de VE em larga escala e as suas principais características e implicações;
 - Para cada modo de integração considerado, foram identificadas as principais fontes de emissões de CO₂;
 - A informação obtida foi sistematizada e isso permitiu construir o framework;
2. Para calcular as emissões de CO₂:
 - Tendo por base o framework desenvolvido fez-se uma pesquisa que identificasse estudos sobre o cálculo parcial (análise micro) das emissões de um VE;
 - Foram feitos cálculos para uniformizar os dados dos vários estudos identificados e também se converteram os cálculos das emissões de CO₂;
 - As emissões totais foram calculadas usando uma macro perspetiva, seguindo a estrutura do framework desenvolvido e para os vários modos de integração do VE em larga escala;
3. Os valores das emissões obtidas para os VE foram comparados com os dos VCI.

O presente estudo baseia-se nos dados de outros estudos que apresentam dados e perspetivas parciais que correspondem a microanálises, de modo a usar esses dados para construir uma visão macro que permita estimar as emissões globais de CO₂ devidas ao uso de VE em larga escala.

5.4.1.4 Resultados específicos

Os resultados foram divididos em 3 partes:

- a) construção do framework;
- b) cálculo das emissões de CO₂ numa macro perspetiva;
- c) comparação com as emissões dos VCI (discussão dos resultados).

a) Construção do framework:

A revisão da literatura feita permitiu identificar 46 estudos/publicações, dos quais 6 descrevem resultados quantitativos sobre emissões de CO₂ resultantes do uso de VE. Estes 6 são apresentados na tabela 5.10 pois os seus dados quantitativos foram usados para os cálculos do presente estudo.

Tabela 5.10 - Síntese dos estudos identificados na revisão de literatura que descrevem dados quantitativos que foram usados para os cálculos do presente estudo [328].

Autores	Data	Título	Foco do estudo
Aleksic, S.; Mujan, V.	2018	Exergy cost of information and communication equipment for smart metering and smart grids	O foco são as perdas de exergia devidas às infraestruturas de comunicações e processamento de dados numa rede inteligente
Nordelöf, A.; et al.	2014	Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?	Apresenta as emissões usando uma análise do ciclo de vida de um VE
EEA, European Environmental Agency	2023	Greenhouse gas emissions from transport in Europe	Apresenta as emissões usando uma análise do ciclo de vida de um VE
EEA, European Environmental Agency	2018	EEA Report No 13/2018, Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report	Apresenta as emissões usando uma análise do ciclo de vida de um VE
Fernandez, L. P.; et al.	2010	Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks	Apresenta o impacto dos VE na rede e as perdas causadas na rede
Nour, M.; Ramadan, H.; Ali, A.; Farkas, C.	2018	Impacts of plug-in electric vehicles charging on low voltage distribution network	Apresenta o impacto dos VE na rede e as perdas causadas na rede

A pesquisa bibliográfica permitiu identificar os diferentes modos de integração e gestão dos VE (em larga escala) no sistema de energia elétrica (SC; CC-SC; V2G; G2V) que foram alvo de publicação em artigos científicos (em revistas científicas internacionais). A tabela 4.11 apresenta uma síntese das características teóricas de cada modo de funcionamento de acordo com a pesquisa efetuada ([331] [335] [337] [338] [339] [345] [346] [348] [349] [350] [353] [354] [358]). A tabela 5.11 foca os aspetos que podem contribuir para causar emissões de CO₂ e segue as designações e as descrições que foram apresentadas no enquadramento inicial.

Tabela 5.11 - Síntese das características teóricas de cada um dos modos de integração e gestão de VE de acordo com a literatura. Usaram-se as designações descritas no enquadramento: NC, WCNC, V2G e G2V [328].

	SC	CC-SC	V2G	G2V
Proprietário do VE	• é quem toma as decisões	• é quem toma as decisões mas é intencionalmente condicionado nessa tomada de decisão	• não toma decisões sobre o carregamento/descarregamento do VE	• não toma a decisão sobre como o VE é carregado
Impactos no Sistema de energia elétrica	• perdas na rede • congestionamentos • instabilidade • sobrecargas • diminui a tensão • é mais difícil gerir a rede • degradação das infraestruturas • baixa qualidade de serviço	• permite regulação parcial da carga nas horas de vazio • perdas na rede • congestionamentos • instabilidade • sobrecargas • diminui a tensão • é mais difícil gerir a rede • degradação das infraestruturas • baixa qualidade de serviço	• perdas na rede • controlo de frequência • controlo do nível de tensão • servem de serviços auxiliares • redução dos picos de consumo • controlo da carga nas horas de vazio • maior aproveitamento da produção renovável em excesso	• controlo da carga nas horas de vazio • perdas na rede
Infraestruturas	• para carregamento do VE • para medição	• para carregamento do VE • para medição	• para fluxo bidirecional da potência • para medição • para comunicações bidirecionais globais • para armazenamento de dados • para processamento de dados (AI + IOT)	• para carregamento do VE • para medição • para comunicações locais • para Gestão e controlo local
Baterias	• minimiza os ciclos de carga e descarga	• minimiza os ciclos de carga e descarga	• aumenta os ciclos de carga e descarga: aumenta a degradação da bateria • encurta o tempo de vida • necessita de baterias maiores do que as necessárias apenas para transporte	• minimiza os ciclos de carga e descarga

Ao ocorrer o uso de VE em larga escala, muitos dos impactos (nomeadamente no que respeita às emissões de CO₂) que vão ocorrer são indiretos e difíceis de quantificar, mas o cálculo das emissões só será credível se incluir o máximo possível dos impactos, ainda que indiretos. Isto significa, que se use uma macro perspetiva e não apenas uma micro perspetiva. Tendo por base a pesquisa bibliográfica efetuada construiu-se um framework que consiste numa representação gráfica (figura 5.22, para os modos SC e CC-SC; e figura 5.23, para os modos V2G e G2V), e de uma tabela (5.12), em que se evidenciam as emissões resultantes do uso de VE em larga escala. Este framework facilita o cálculo das emissões globais de CO₂, uma vez que apresenta a síntese das principais fontes de emissões, pesar de não ser uma descrição exaustiva (por exemplo, não tem em conta de forma explícita os constituintes dos VE ou o tempo de fabrico, etc). Contudo, este framework torna mais fácil e compreensível toda a complexidade abrangência dos impactos, evidenciando como podem ser fontes de emissões.

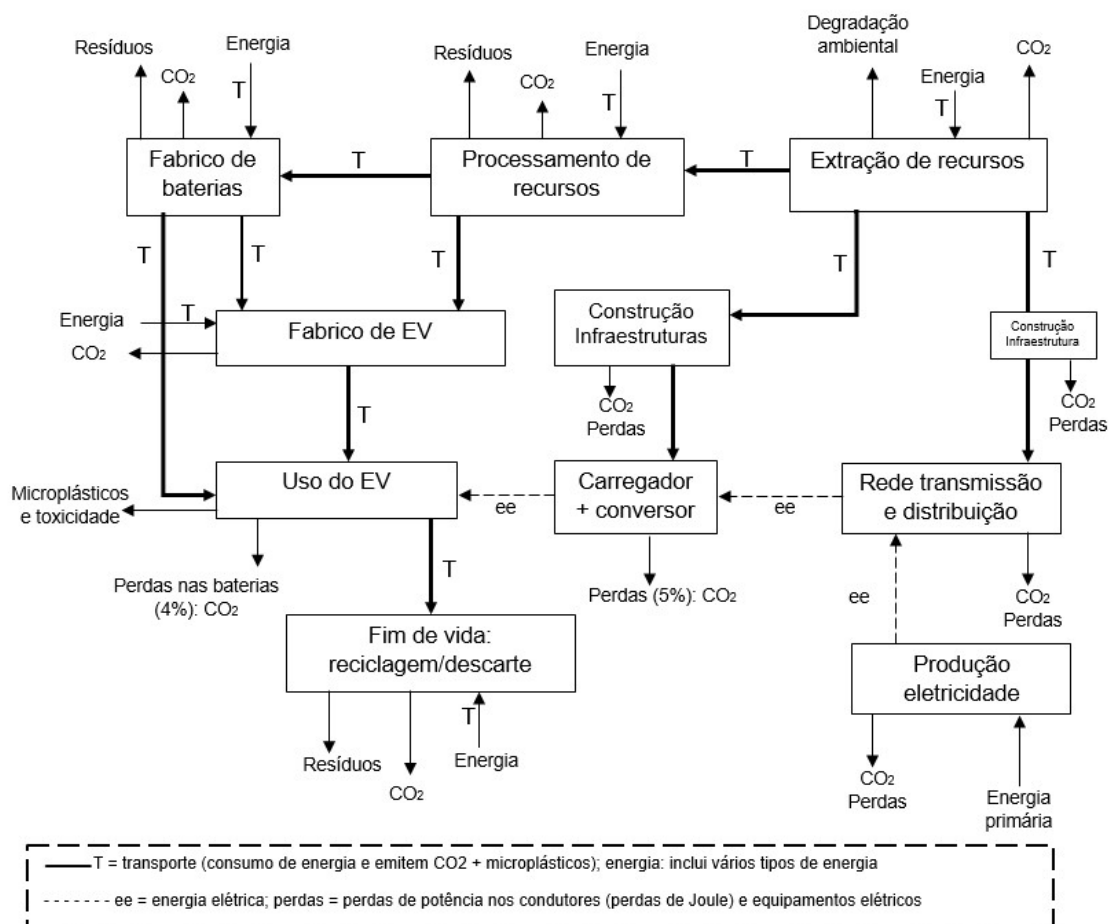


Figura 5.22 - Síntese gráfica a evidenciar as principais fontes de emissões de CO₂ resultantes da integração de VE em larga escala usando o modo SC ou CC-SC, numa macro perspectiva [328].

Ao comparar as figuras 5.22 e 5.23 destaca-se que os modos SC e CC-SC não apresentam emissões relacionadas com sistemas de comunicações, controlo e processamento de dados. Apesar das figuras 5.22 e 5.23 serem parecidas e terem itens semelhantes para os vários modos de funcionamento, os valores de consumo (intensidade) ou de emissões são muito diferentes; mas, as figuras não mostram a intensidade nem se se trata de um consumo/emissão pontual ou contínuo ao longo do ciclo de vida do VE. Por exemplo, apesar de para os modos V2G e G2V a figura ser a mesma (figura 5.23), o modo V2G implica muito mais necessidade de infraestruturas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados que o modo G2V. Também terá muitas mais perdas devido ao seu fluxo bidirecional (e mais frequente) que no modo G2V, no qual podem existir menos de metade das perdas, uma vez que o fluxo é unidirecional.

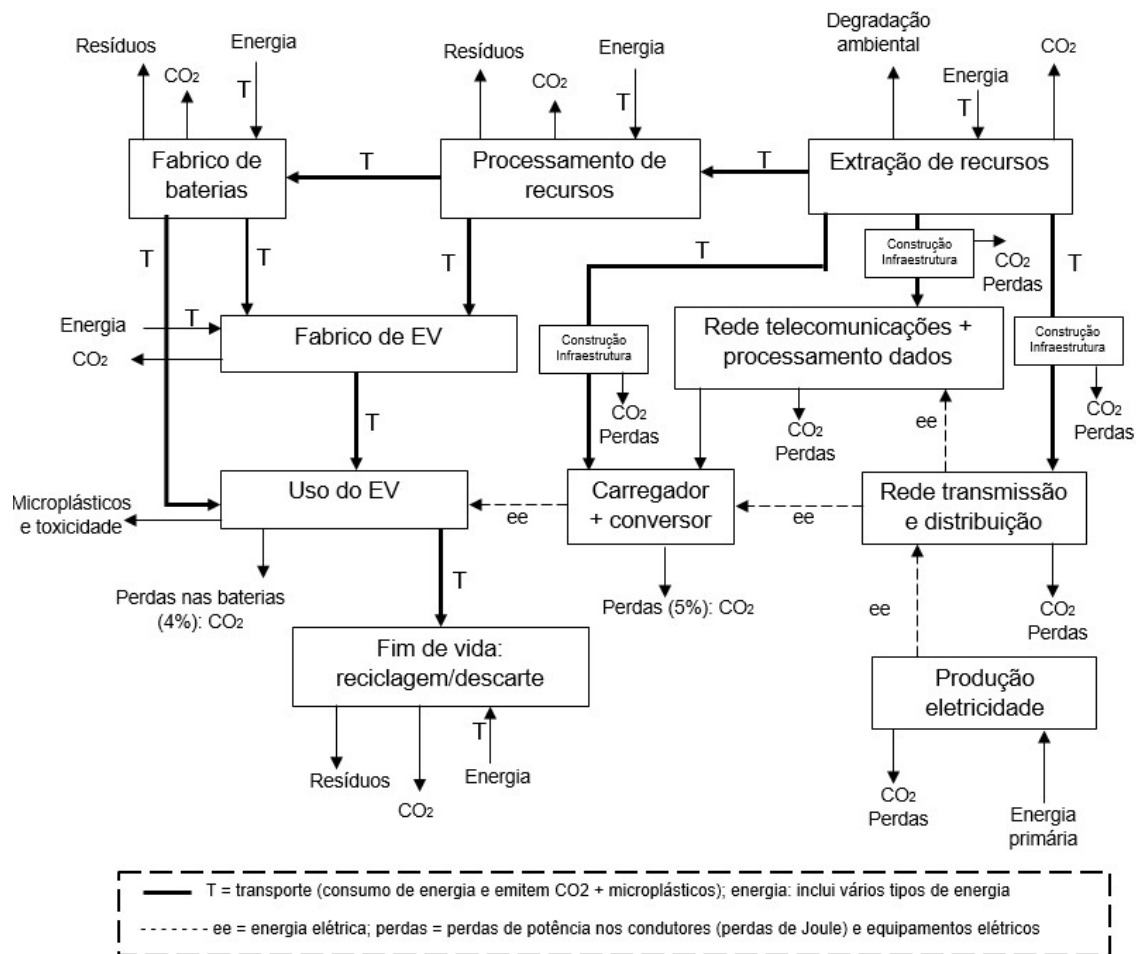


Figura 5.23 - Síntese gráfica a evidenciar as principais fontes de emissões de CO₂ resultantes da integração de VE em larga escala usando o modo V2G ou G2V, numa macro perspectiva [328].

Considerar uma macro perspectiva obriga a incluir todo o ciclo de vida (“do berço, à cova”) de um VE, mas não se pode limitar à análise do ciclo de vida do VE, pois para o seu funcionamento são necessárias muitas infraestruturas. Têm que ser considerados os impactos e as emissões das infraestruturas que tornam viável o uso de VE em larga escala, como é o caso das infraestruturas de comunicações, processamento e armazenamento de dados, ou as infraestruturas necessárias para carregar o VE. Os impactos nas infraestruturas têm que ser considerados, ainda que se possam também utilizar para outros fins, como é exemplo a rede de distribuição que não se usa só devido os VE, mas onde os VE também causam perdas. Numa macro perspectiva também se devem considerar as necessidades de construir ou expandir infraestruturas em resultado do aumento de consumo devido aos VE.

A partir das representações gráficas (figuras 5.22 e 5.23), foi construída uma síntese que se apresenta sob a forma de uma tabela (5.12), onde se explicitam as principais fontes de emissões devido aos VE em larga escala e numa macro perspectiva.

Tabela 5.12 - Síntese das principais fontes de emissões devido aos VE em larga escala e numa macro perspectiva, para os modos V2G ou G2V. Para os modos SC ou CC-SC, os itens relativos às comunicações e processamento de dados são excluídos, uma vez que o seu uso será muito menor [328].

Áreas	Subáreas	Impactos
Extração de recursos	• para construção da bateria • para construção do VE • para construção das infraestruturas de comunicações, controlo, processamento, armazenamento de dados e automação • para construção das infraestruturas de carregamento e de contagem • para construção das infraestruturas da rede de distribuição / instalações elétricas • extração de combustíveis fósseis	• degradação ambiental • consumo de energia • consumo de recursos • produz toxicidade
Processamento de recursos	• para a construção das baterias e dos VE • para construção das infraestruturas de comunicações, ..., carregamento e contagem, rede de distribuição... • processamento de combustíveis fósseis	• consumo de energia • produção de poluição • consumo de mais recursos • produz toxicidade
Transporte	• de energia (excluindo a energia elétrica) necessária para a extração e processamento de recursos, para a produção das baterias e dos VE • de energia (excluindo a energia elétrica) necessária para a extração e processamento de recursos, para a produção para a produção das infraestruturas • entre extração de recursos → processamento de recursos • entre processamento de recursos → fabrico das baterias → fabrico dos VE • entre processamento de recursos → fabrico das infraestruturas de comunicações, controlo, ... → local da sua instalação • entre processamento de recursos → fabrico das infraestruturas de carregamento e contagem → local da sua instalação • entre processamento de recursos → fabrico das infraestruturas da rede de distribuição, instalações elétricas → local da sua instalação • entre local de fabrico dos VE → entrega aos cliente • entre local de fim de vida do VE / bateria → local de processamento / reciclagem / depósito	• consumo de energia • uso de recursos • produz toxicidade • produz micro-plásticos
Fabrico	• VE • baterias • infraestruturas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados • infraestruturas de carregamento e contagem • infraestruturas da rede de distribuição	• consumo de energia • uso de recursos • produz toxicidade • produção de poluição
Fim de vida	• VE • bateria • infraestruturas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados • infraestruturas da rede de distribuição • infraestruturas de carregamento e contagem	• consumo de energia • uso de recursos • produz toxicidade • produção de poluição
Perdas óhmicas	• bateria * • carregador e conversor * • cabos da rede de alimentação dos sistemas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados + perdas nos equipamentos * • cabos da rede de distribuição + rede de transporte + cabos de alimentação dos carregadores *	• consumo de energia elétrica
Produção de energia elétrica	• para carregamento dos VE * • para alimentação dos sistemas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados * • para alimentação dos sistemas de extração de recursos, processamento de recursos, fabrico dos VE e das baterias; fabrico das infraestruturas e dos equipamentos*	• consumo de energia • consumo de combustíveis fósseis (se for o caso)
Uso dos VE	• substituição de baterias • desgaste dos pneus *	• uso de recursos (para a bateria) • consumo de energia • produz micro-plásticos • produz toxicidade

Notas: * ocorrem durante toda a vida útil do VE. As células a sombreado fazem parte da análise do ciclo de vida ("do berço, à cova") de um VE. As células sem sombreado dizem respeito a sistemas e infraestruturas que são necessárias ao funcionamento do sistema, mas não fazem parte da análise do ciclo de vida do VE.

Na tabela 5.12 listam-se vários tipos de impactos importantes, nomeadamente o consumo de energia (incluindo térmica, fóssil ou elétrica), o consumo de recursos, a produção de poluição (como são exemplo os microplásticos libertados devidos ao desgaste dos pneus), e o uso de componentes tóxicos que podem causar danos na saúde Humana [354]. Tendo em conta o âmbito do presente estudo, não será considerada a toxicidade dos componentes de um VE ou das infraestruturas, nem os efeitos que uma nova tecnologia (VE) tem no comportamento Humano, mas apenas serão considerados os usos de recursos e o consumo de energia.

A tabela 5.12 apresenta os principais impactos para os modos G2V ou V2G, mas é necessário ter em conta que o modo V2G terá mais diversidade e intensidade nos impactos. Apesar das figuras 5.22 e 5.23 e da tabela 5.12 serem muito úteis para estimar o impacto (numa macro perspectiva) do uso de VE em larga escala, alguns dos impactos são muito difíceis de calcular porque dependem da existência ou não de infraestruturas prévias, das distâncias, da densidade das habitações e outros edifícios, das características da produção da energia elétrica, da rede de transporte, da existência ou não de recursos naturais locais, etc. Como tal, dependem de caso para caso e o seu cálculo requer muitos dados que não são de fácil acesso ou estimativa. Por outro lado, há um importante aspeto que o framework proposto não tem em conta: a mudança de comportamento das pessoas em resultado da introdução de uma nova tecnologia. Neste estudo foi apenas considerado o comportamento standard dos condutores antes da introdução dos VE em larga escala, supondo que o uso de VE não terá impacto no comportamento do seu utilizador (o que não é expectável tendo em conta todos os estudos sobre a introdução de novas tecnologias). Contudo, a mudança do comportamento dos proprietários ou utilizadores dos VE poderá ter um grande impacto nas emissões globais de CO₂, pelo que são necessários estudos sobre como esta nova tecnologia vai alterar o comportamento individual coletivo [343]. Este aspeto não foi considerado no presente estudo.

b) Cálculo das emissões de CO₂ numa macro perspectiva:

Foi feita uma pesquisa bibliográfica para identificar estudos que quantificassem impactos da introdução de VE em larga escala. Estes estudos apresentavam análises parciais ou microanálises focadas apenas em alguns aspetos. A partir destes valores procurou-se calcular as emissões numa macro perspectiva. Cada um dos estudos focava-se em aspetos ou perspectivas diferentes, pelo que foi necessário converter ou normalizar as quantidades e unidades usadas de modo a calcular um valor final que pudesse ser comparado com as emissões de um VCI. As emissões dos VCI já foram muito estudadas, uma vez que estes veículos já estão no mercado há muito tempo.

Para fazer o cálculo das emissões foi necessário definir valores de base, pelo que se optou por usar como referência os valores relativos à média da União Europeia, e/ou a valores de países da União Europeia. Seguindo o framework desenvolvido, para calcular as emissões totais resultantes do uso de VE em larga escala, foram considerados os cálculos parciais de cada item:

- I. Cálculo das emissões resultantes do ciclo de vida de um VE:
 - Extração, processamento e transporte de recursos
 - Fabrico do VE e da bateria
 - Consumo de energia elétrica para carregamento do VE durante a fase do seu uso
 - Descarte ou eventual reciclagem após o fim do ciclo de vida do VE e da bateria.
- II. Cálculo das emissões devidas à instalação e ao funcionamento das infraestruturas de comunicações, controlo, processamento e armazenamento de dados e de automação.
- III. Cálculo das emissões devidas à nova instalação (ou ampliação) de infraestruturas de distribuição e à operação das infraestruturas de distribuição.
- IV. Cálculo das emissões totais.

Uma vez que a maioria dos estudos dizem respeito a veículos ligeiros, este estudo também se limita a essa gama de veículos. Os veículos mais pequenos têm menos emissões se se considerar a análise do ciclo de vida, quer sejam VE ou VCI. Usando a análise do ciclo de vida, os VE têm menos emissões do que os VCI se se usar no cálculo o mix da energia da União Europeia, mas isso não ocorre para todas as gamas de veículos. Assim, neste estudo o valor calculado refere-se a um valor médio que se aplica a veículos de gama média.

I) Cálculo das emissões resultantes do ciclo de vida de um VE:

Para calcular as emissões resultantes de uma tecnologia pode-se usar a metodologia designada por análise do ciclo de vida. Esta opção metodológica tem em conta as emissões que resultam de todo o processo de extração, processamento e transporte dos recursos; o processo de fabrico e a energia que consome; a energia que é consumida durante a fase de uso do VE, e as emissões após o fim de vida (descarte e/ou reciclagem) [354]. A análise do ciclo de vida foi usada em vários estudos sobre o impacto dos VE [355] uma vez que é muito completa e abrangente, pelo que permite obter resultados que são bons indicadores das emissões de CO₂ durante todo o ciclo de vida da tecnologia [356].

Apesar do rigor desta metodologia, a etapa do descarte e/ou reciclagem ainda é bastante difícil de quantificar porque ainda é muito desconhecida, uma vez que os VE são uma tecnologia muito recente e ainda não há infraestruturas e métodos organizados de descarte e/ou reciclagem [352]. Por este motivo, é de supor que as emissões calculadas pelo método da análise do ciclo de vida estejam subestimadas.

A fase mais longa do ciclo de vida de um VE é a sua fase de uso (circulação), pelo que é importante avaliar as emissões que lhe estão associadas. Contudo, esse cálculo depende de vários fatores, nomeadamente do mix de energia elétrica usado para carregamento do VE. Por exemplo, se se usar centrais a carvão, os VE durante a fase de uso terão mais emissões que

um VCI [359]; mas se for usada energia eólica, os VE terão apenas cerca de 10% das emissões de um VCI, durante a sua fase de uso. Devido a esta grande dependência do valor das emissões face ao mix da produção da energia elétrica, neste estudo usam-se os valores do mix da União Europeia.

Para calcular as emissões de todo o ciclo de vida de um VE é necessário definir qual a duração da vida útil do VE (considerada como o tempo de circulação). Vários estudos definiram este valor como sendo 150 000 km [360] [355] [354].

Tendo em conta o estudo de [359], os VE têm mais emissões de CO₂ durante a sua fase de fabrico do que os VCI e têm valores semelhantes durante a fase de descarte/reciclagem (apesar que isto ainda é apenas uma estimativa, porque a reciclagem de VE ainda está em desenvolvimento). Durante a fabricação dos VE há um elevado consumo de energia, nomeadamente de eletricidade, pelo que as emissões também dependem fortemente do mix da produção da energia elétrica do país onde o VE é fabricado. Por este motivo, foi definido que os VE considerados neste estudo sejam produzidos na União Europeia e por isso será usado o mix correspondente.

Fabricar um VE pode emitir cerca de 10 tCO₂e/EV e fabricar um VCI emite cerca de 5 tCO₂e/VCI [355], o que resulta em 66,7 gCO₂e/Km para um VE e 33,3 gCO₂e/Km para um VCI, considerando 150 000 km como a vida útil do veículo.

Considerando o estudo de [354] que usou os dados da União Europeia (usando 596 gCO₂e/kWh) e 150 000 km como a vida útil do veículo, um VE terá emissões de 46 gCO₂e/Km e um VCI terá de 35 gCO₂e/Km devido à etapa de fabrico dos veículos.

As emissões devidas aos carregamentos (fase de uso/circulação) para um VE de gama média será de 47 a 58% das emissões de um VCI (que consome combustível fóssil), que são de 143 gCO₂e/Km [354]. Deste modo, obtém-se que um VE terá emissões entre 60 a 76 gCO₂e/Km (usando o mix da União Europeia) durante a sua fase de uso/circulação.

Adicionando as duas componentes (fase de fabrico e fase de uso/circulação), obtém-se:

- No pior caso (soma dos valores mais altos de emissões que são referidos nos estudos): as emissões serão de 142,7 gCO₂e/Km para os VE e de 178 gCO₂e/Km para os VCI. Ou seja, os VE têm 19,8% menos emissões/km que os VCI.
- Para o melhor caso (soma dos valores mais baixos de emissões que são referidos nos estudos): as emissões de um VE serão de 106 gCO₂e/Km e de 176,3 gCO₂e/Km para um VCI. Ou seja, os VE têm apenas 60% das emissões de um VCI, o que corresponde a uma redução de cerca de 40% das emissões.

Os dados usados para os cálculos estão resumidos na tabela 5.13. No entanto, os valores usados para este cálculo partiam do princípio que no final de vida haveria reciclagem dos VE, o que anda não está desenvolvido [352], pelo que é expectável que estas emissões estejam subestimadas. Tal também é confirmado pelo estudo de [359], que refere que no melhor caso, um VE terá 17 a 30% menos emissões (tendo em conta todo o ciclo de vida) do que um VCI.

Tabela 5.13 - Resumo dos dados usados para o cálculo das emissões considerando o ciclo de vida de VE e de VCI. Os dados estão em gCO₂e/km.

		VE	VCI
Fase de fabrico	mínimo	46	33,3
	máximo	66,7	35
Fase de uso/circulação	mínimo	60	143
	máximo	76	143
Total	mínimo	106	176,3
	máximo	142,7	178

Os valores obtidos (tabela 5.13) são compatíveis com os valores que foram obtidos por [355] de 144,4 gCO₂e/Km para um VE de gama média; de 166,6 gCO₂e/Km para um VE de gama alta; e 194, 4 gCO₂e/Km para um VE de luxo.

Os estudos de [359], de [354] e de [355] usam a análise do ciclo de vida de um VE, mas não têm em conta as emissões devidas às novas infraestruturas que são necessárias e à sua operação ao longo do tempo. Para calcular as emissões devidas às infraestruturas, estas foram divididas em 2 grupos: II) as associadas com as comunicações, controlo, automação, aquisição, processamento e armazenamento de dados; III) as associadas com a rede de distribuição/instalações elétricas.

Neste estudo considerou-se que as emissões devidas às infraestruturas de carregamento que são necessárias aos VE [342] estão incluídas na análise do ciclo de vida dos VE, ou seja, nos cálculos da tabela 5.13.

II) Cálculo das emissões resultantes das infraestruturas de comunicações, controlo, automação, aquisição, processamento e armazenamento de dados:

Para calcular as emissões devido a este tipo de infraestruturas é necessário considerar as emissões devidas ao seu fabrico (que ocorre pontualmente), e também é necessário ter em conta as emissões devidas ao funcionamento das infraestruturas ao longo do tempo. O funcionamento destas infraestruturas e equipamentos vai implicar consumo de energia: “In order to enable these functionalities, however, additional equipment has to be installed, which, on the other hand, will lead to increased electricity consumption and more e-waste.” [356].

O perfil e a quantidade de infraestruturas dependem do modo como os VE vão ser integrados no sistema de energia elétrica (SC, CC-SC, V2G, G2V). Não considerando as infraestruturas da rede de distribuição, será necessário pelo menos cabos, carregadores e contadores para os modos SC ou CC-SC. Estes componentes são quase todos passivos, pelo que têm pouco consumo de energia, mas o fluxo de potência para carregamento dos VE causam perdas de Joule. Neste estudo, considerou-se que estas perdas foram incorporadas na análise do ciclo de vida de um VE.

No modo G2V para além dos cabos, carregadores e contadores, também é necessário instalar cabos e equipamentos de comunicações e de processamento usando Inteligência Artificial para a tomada de decisões sobre a melhor gestão dos carregamentos dos VE. Por isso, neste modo há consumo ativo dos equipamentos (comunicação e processamento) e perdas nos cabos e equipamentos.

No modo V2G há um grande aumento das infraestruturas necessárias [348], pois os VE têm de estar ligados à rede sempre que estiverem estacionados, o que implica ter um número de ligações à rede maior que o número de VE, para que cada VE possa estar ligada em diferentes localizações (por ex. em casa, no local de trabalho, num shopping...). Os veículos passam a maioria do tempo estacionados [346]: de noite, em casa; durante o dia, no local de trabalho ou em parques de áreas comerciais. Este modo de funcionamento requer muitos mais cabos, carregadores, contadores, bem como cabos e equipamentos de comunicações, processamento e armazenamento de dados com Inteligência Artificial e IOT para ajudar na tomada de decisões sobre as prioridades a gestão do sistema e de carga/descarga de todos os VE. Porque existirão mais infraestruturas e equipamentos no modo V2G, haverão também muitas mais perdas nos cabos e mais consumo de energia pelos equipamentos ativos de comunicações, processamento e armazenamento de dados.

Nos modos SC e CC-SC não há necessidade de infraestruturas de comunicações (para além das de contagem), mas para os modos G2V e o V2G é necessário criar uma rede inteligente (smart grid) com um elevado número de equipamento e infraestruturas de comunicações. Tal é muito maior no modo V2G do que no modo G2V.

Para estimar as emissões devidas às infraestruturas de comunicações, contagem e processamento de dados considerou-se que as necessidades para o modo G2V são semelhantes às necessidades para implementar uma rede inteligente com contagem inteligente (smart grid/smart metering).

De acordo com [356], o impacto ambiental das tecnologias de comunicações e de informação para implementar um sistema de contagem inteligente (considerando todo o seu ciclo de vida e excluindo as infraestruturas dentro das habitações) corresponde a uma perda de 6,8 to 14,3 PJ de exergia, considerando um tempo de 20 anos e o caso concreto da cidade de Viena (Áustria). Cerca de 33% deste valor corresponde à energia elétrica consumida pelas infraestruturas ao longo do seu funcionamento [356].

Se se incluírem as redes locais de comunicações e monitorização (nas habitações), este valor terá um aumento de 63%, o que significa que em 20 anos as infraestruturas nas habitações correspondem a valores entre 11,1 PJ e 23,3 PJ de exergia que é destruída.

A exergia é definida como a quantidade máxima de trabalho útil que pode ser obtido a partir de um sistema [357], o que significa que traduz a parte da energia que ainda pode ser usada para produzir trabalho útil. A análise da eficiência da exergia de um sistema reflete a sua sustentabilidade e/ou o seu impacto ambiental [361] [362]. Assim, pode ser estabelecida uma

relação direta entre a exergia destruída num processo e as emissões de CO₂ desse processo [362] [363].

No estudo de [356] que considera o período entre 2020 e 2040 e a cidade de Viena, com cerca de 977 875,5 de habitações habitadas, em média dos 20 anos. O estudo considerou que, em média, viviam 2 habitantes por habitação. Este estudo pode ser considerado uma boa referência para o cálculo das emissões associadas com as infraestruturas de comunicação e contagem necessárias no modo G2V, pois este modo de funcionamento requer aproximadamente o mesmo tipo de infraestruturas e de processamento. Para o modo V2G, as infraestruturas necessárias serão muito mais do que as consideradas no estudo de [356].

De acordo com a União Europeia, existem menos de 300 veículos por 1 000 habitantes na cidade de Viena [364], mas, há em média 530 veículos por 1 000 habitantes na União Europeia [365]. Tendo estes valores em conta, decidiu-se considerar o valor média da União Europeia para o cálculo das emissões por veículo, considerando que, em média, as emissões numa cidade europeia serão aproximadamente proporcionais aos obtidos para a cidade de Viena.

Para o presente estudo considerou-se que cerca de 50% dos veículos existentes na cidade eram VE. Por semana, em Portugal e em média, os carros circulam entre 50 a 200 km, e 9 000 km por ano [360], o que resulta em cerca de 25 a 30 km/dia, pelo que estes foram os valores de referência considerados para os cálculos.

Segundo o estudo de [356], em média, o consumo de exergia varia entre 0,554 PJ ($1,539 \times 10^8$ kWh) to 1,165 PJ ($3,236 \times 10^8$ kWh) por ano para toda a cidade de Viena. Considerando a média de 530 veículos por 1 000 habitantes, o valor médio de 1 955 751 habitantes e que 50% dos veículos são VE, obtém-se um total de 518274 VE na cidade, o que corresponde de 296,94 kWh/VE a 624,38 kWh/VE e por ano. Usando o mix da União Europeia de 596 gCO₂e/kWh (em coerência com os restantes cálculos) obtém-se entre 176 980,52 a 372 130,56 gCO₂e por VE e por ano. Considerando que, em média, cada veículo circula cerca de 9 000 km por ano [360], as emissões serão entre 19,66 gCO₂e/km e 41,35 gCO₂e/km devidas às infraestruturas de comunicação e contagem.

Estes cálculos só consideram as infraestruturas básicas de uma rede inteligente/contagem inteligente (smart grid/ smart metering), considerando 1 ponto de interconexão/controlo por VE (considerando que só será carregado em casa). Por isso, considerou-se que será uma boa aproximação para o modo G2V, mas para o modo V2G será necessário um sistema muito maior e mais complexo, pois os VE devem estar ligados à rede sempre que não estão em circulação, por isso quer durante o dia, quer durante a noite, quer em casa, quer noutros locais (junto ao local de emprego ou locais públicos). Por esta razão, para o modo V2G foi considerado que são precisos pelo menos de 2 pontos de interconexão e controlo para cada VE, logo são necessárias mais infraestruturas de comunicações, controlo, etc. Neste modo, também é necessário muito mais processamento, pois os algoritmos de gestão do sistema terão de ser muito mais complexos, e também haverá muitos mais dados para processar e armazenar. Por todos estes

motivos, considerou-se para este estudo que o modo V2G necessita do dobro das infraestruturas (e dos consumos) necessárias para um sistema G2V ou uma rede inteligente de contagem. Contudo, considerou-se que não haveria uma alteração relevante nas infraestruturas dentro das habitações, sendo por isso semelhantes ao caso G2V. Assim, o total da exergia consumida em 20 anos seria de 17,9 PJ a 37,6 PJ no modo V2G; ou seja, de $5,32 \times 10^{-2}$ kWh/km a 0,1119 kWh/km. Usando o mix da União Europeia (596 gCO₂e/kWh), obtém-se emissões entre 31,68 gCO₂e/km e 66,69 gCO₂e/km para o modo V2G. A tabela 5.14 apresenta o resumo das emissões parciais calculadas até este ponto do estudo (sem considerar as infraestruturas da rede de distribuição).

Tabela 5.14 - Resumo das emissões parciais calculadas até este ponto do estudo (sem considerar as infraestruturas da rede de distribuição) para um VE.

	Ciclo de vida de um VE		Infraestruturas de comunicações...		Emissões de um VE: total parcial	
	Fabrico gCO ₂ e/km	Carregamento gCO ₂ e/km	G2V gCO ₂ e/km	V2G gCO ₂ e/km	G2V gCO ₂ e/km	V2G gCO ₂ e/km
Pior caso	66,7	76	41,35	66,69	184,05	209,24
Melhor caso	46	60	19,66	31,68	125,66	137,68

Estes resultados mostram que o modo V2G aumenta as emissões de CO₂ e por isso reduz os benefícios do uso de VE. As infraestruturas do modo V2G podem ser usadas para vários fins, incluindo o controlo do carregamento e descarregamento dos VE, o uso das baterias como serviços auxiliares, etc. Isto pode levar a supor que as emissões devidas às infraestruturas de comunicações, contagem e processamento de dados não devem ser imputadas aos VE. Contudo, sem essas infraestruturas os modos V2G ou G2V não funcionam, e a gestão dos VE implica fluxos de dados, processamento e energia que causam gastos e emissões apenas devidas aos VE. Estes dois modos de funcionamento surgiram em resposta aos problemas que os VE causariam no sistema de energia elétrica, pelo que as suas emissões são imputáveis aos VE. Além disso, existem estudos que indicam que o uso dos VE, por exemplo para armazenamento de energia, não é a solução mais económica para esse fim, nem a mais eficiente, e por isso também não será a mais sustentável [366].

Outra questão que se pode levantar no que concerne ao modo V2G é que este incentiva/implica a que as baterias dos VE sejam sobredimensionadas quando comparadas com as necessárias apenas para a autonomia de circulação, caso contrário o armazenamento temporário de energia entra em conflito com a sua função de transporte. Como as baterias são uma das principais fontes de emissões durante a fase de fabrico e no fim de vida útil, a União Europeia recomenda que estas devem ser o mais pequenas possível e ajustadas à autonomia desejável [359]. Tendo por base esta recomendação, não é expectável que as baterias tenham uma grande margem para armazenar energia, a não ser que os proprietários dos VE aceitem

que estes sejam usados para satisfazer as necessidades e interesses da rede em vez de garantir a autonomia do VE. Contudo, de acordo com [360], os proprietários não estão muito recetivos a perder o controlo do seu VE.

Se as baterias dos EV forem sobredimensionadas, as emissões devidas à fase de fabrico irão crescer, pois as baterias são responsáveis por valores entre 31% e 46% das emissões devidas ao fabrico de um VE, e entre 14% a 23% na fase do fim de vida útil [355]. As baterias também têm perdas durante o seu uso que correspondem a 4% das emissões de um VE na fase de uso / circulação. Globalmente, considerando o ciclo de vida, as baterias são responsáveis por 13% a 22% das emissões de um VE [355]. Se as baterias aumentarem, o peso das baterias também aumenta, logo aumenta o peso que o VE terá de suportar, o que implica um consumo adicional [367] de 5,6 Wh/km por cada 100 kg [355]. Assim, aumentar as baterias terá um forte impacto global das emissões de um VE. Tendo isto em conta, a União Europeia recomenda que os fabricantes reduzam o tamanho das baterias ao que é estritamente necessário [359]. Esta recomendação dificulta o uso dos VE no modo V2G, porque limita a capacidade das baterias para a função de armazenamento temporário de energia, que é uma das mais valias do modo V2G.

III - Cálculo das emissões devidas ao funcionamento da rede de distribuição

Um dos problemas da maioria dos estudos sobre os diversos modos de interligação dos VE em larga escala é que “these models often lack the ability to take the network infrastructure at lower voltage levels into account. The models assume that the infrastructure is strong enough to supply the EV demand.” [353] (p. 5). No entanto, vários estudos indicam que a integração de VE em larga escala requer a necessidade de novas infraestruturas na rede de distribuição, pois aumentam os congestionamentos que obrigam a ampliações ou reforço da rede [368].

Uma importante consequência do aumento dos VE e que ocorre para todos os modos de interligação, é o aumento das perdas na rede de distribuição. Este problema também vai afetar a rede de transporte se a eletricidade é produzida por centrais (sejam renováveis ou não) que fiquem localizadas fora dos grandes centros de consumo. O aumento das perdas vai, em qualquer caso, aumentar nas redes de distribuição, uma vez que é a esta rede que a maioria dos VE serão ligados.

Para os modos SC e CC-SC, incentivar o carregamento dos VE durante a noite diminui os problemas de congestionamento da rede de distribuição, uma vez que durante a noite há menos fluxo de potência devido a outro tipo de cargas, pelo que o aumento do consumo devido aos VE poderá diminuir a necessidade de mais infraestruturas. No entanto, mesmo assim, também implicará mais perdas na rede do que se não houvesse o consumo dos VE.

Consumir energia de fontes renováveis locais (solar, por exemplo) e numa rede isolada também reduz as perdas na rede [346]. Mas, esta opção apenas pode alimentar uma pequena percentagem de VE e pode não estar sempre disponível.

O carregamento de um VE permite (em média) percorrer 380 km com um consumo de 50 kWh, e carregar a bateria demora pelo menos 30 minutos para obter 80% do seu valor (Sirojiddinova & Aminboyev, 2023). No modo de carregamento normal, serão necessárias 8 a 12 horas para carregar totalmente a bateria.

As infraestruturas necessárias para o carregamento rápido são muito importantes para viagens longas, devendo existir destes postos de carregamento pelo menos a cada 20 km em todo o país [358], o que implica uma vasta rede e, como tal, elevadas perdas nos cabos devido à elevada corrente e distância.

O estudo baseado numa rede urbana que foi realizado por [344], considerou que 51% dos veículos totais seriam VE; que 90% dos VE iriam carregar à noite e 35% durante o dia; com 10% dos VE a funcionar em modo V2G durante as horas de ponta, indica que:

- O aumento (necessário devido aos VE) do investimento no reforço da instalação ou novas instalações na rede de distribuição, principalmente em cabos e equipamentos de proteção (não inclui instalações para carregamento de VE), rondará os 14% para o cenário de 51% de VE (com fator de simultaneidade 1). Mas este valor poderá subir para cerca de 19% se o cenário for de 62% de VE. Estes valores devem-se ao aumento do consumo nas horas de ponta.
- A opção de 95% dos VE serem carregados fora das horas de ponta (95% no carregamento normal e 5% no carregamento rápido) foi o limite encontrado para a rede sem necessidade de investimento adicional devido ao congestionamento fora das horas de ponta. Isto indica que transferir todos os carregamentos para horas de vazio pode não ser a melhor opção, pois também resultará em congestionamento e, portanto, na necessidade de investimentos adicionais na rede.
- Distribuir as cargas ao longo do dia (reduzindo o fator de simultaneidade) reduz a necessidade de investimento na rede de distribuição para 28,6% do valor com fator de simultaneidade 1 (para cenário 51% EV). No entanto, o estudo não tem em conta que esta opção implica investimentos em infraestruturas e redes de telecomunicações e sistemas de processamento de dados e de automação e controlo, que não foram contabilizados.
- Distribuir as cargas ao longo do dia (reduzindo o fator de simultaneidade) reduz a necessidade de investimento na rede de distribuição para 28,6% do valor com fator de simultaneidade 1 (cenário 51% VE). No entanto, o estudo não tem em conta que esta opção implica investimentos em infraestruturas e redes de telecomunicações, sistemas de processamento de dados e de automação e controlo, que não foram

contabilizados. Estes sistemas são necessários para controlar a distribuição dos carregamentos ao longo do dia.

- As perdas Joule na rede de distribuição aumentarão cerca de 13% nas horas de ponta e cerca de 26% fora das horas de ponta para 51% de VE, mas serão de 40% para 62% de VE em relação ao número total de veículos. Este aumento das perdas deve-se ao aumento de 16% da carga fora das horas de ponta para um cenário de 62% de VE.

De acordo com [305], o aumento da carga poderá ser ainda maior: “Adding one or two EVs to every household with level 2 charging in a wealthy neighborhood could effectively increase the demand and load for electricity by 150%”.

Para calcular as emissões de CO₂ resultantes do aumento das perdas na rede de distribuição devido ao consumo dos VE, foram considerados os dados sobre o consumo de eletricidade na cidade de Viena (sobre a qual foram feitos os cálculos anteriores) e sobre as perdas médias na rede de distribuição na União Europeia. Neste estudo, considerou-se que as infraestruturas dos sistemas de energia elétrica na União Europeia apresentam características semelhantes entre os vários países, em média. Desta forma, é possível utilizar os dados de Viena e da União Europeia como orientação para a ordem de grandeza das perdas e respetivas emissões, embora se reconheça que não se trata de um cálculo exato, uma vez que o valor exato depende de país para país, e de rede para rede.

De acordo com [290], a maioria das perdas Joule nos condutores do sistema de energia elétrica ocorrem na rede de distribuição e são responsáveis por 97% das emissões globais de CO₂ provenientes das atividades sistema de energia elétrica. Existem também emissões resultantes do fabrico dos cabos e de outras infraestruturas, mas correspondem apenas a cerca de 3% do total das emissões, pelo que serão ignoradas neste estudo.

Considerando o estudo de [369], em média uma rede de distribuição terá 5,54% de perdas técnicas. Este valor é compatível com o referido no estudo de [370], que indica que “most utilities (...), which ranges from 4 to 13%” de perdas, dependendo da potência total. No estudo de [371], as perdas de potência da rede estudada rondam os 11% nas horas de ponta.

Segundo [372], em 2014 a média das perdas de energia elétrica nas redes de transporte e distribuição da União Europeia foi de cerca de 6,5% da potência total. Portugal foi um dos países com maiores perdas, que ascenderam a 10%.

O consumo global de eletricidade da cidade de Viena em 2016 [373] foi de 8,162TWh. Utilizando o valor médio das perdas da União Europeia (6,5%), foi calculado o valor adicional das perdas devidas aos VE para a cidade de Viena, tendo em conta o cenário de 50% de VE (10% dos quais em modo V2G). Para tal, foi utilizado o aumento médio das perdas nas horas fora de ponta e de ponta conforme o estudo de [344], o que resultou num valor anual (utilizando 2016 como caso base) de mais de 103,45 GWh de perdas durante 1 ano. Utilizando o número esperado de VE (cenário com 50% VE) obtém-se 199,611 kWh/VE. Utilizando 9 000 km como a circulação

média anual de cada veículo, resulta em $2,22 \times 10^{-2}$ kWh/km. Aplicando o mix da União Europeia, obtém-se emissões de 13,22 gCO₂e/km. Considerou-se que este valor de perdas adicionais também se aplicaria ao caso G2V, uma vez que no estudo de [344] que foi utilizado como referência, apenas 10% dos VE estavam a funcionar no modo V2G.

IV - Cálculo das emissões totais

Na tabela 5.15 apresenta-se o resumo de todos os cálculos parciais e o cálculo total das emissões em função do modo de integração do VE. Tendo em conta os estudos de [355] e [354], as emissões de um VCI são apresentadas na tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Resumo de todos os cálculos parciais e o cálculo total das emissões em função do modo de integração (V2G e G2V) dos VE (em gCO₂e/km), e para os VCI.

		Ciclo de vida		Infraestruturas		Total VE		Total VCI
				Comunicações	Perdas na rede			
		Fabrico	Carregamento	G2V		V2G	G2V	
VE	Pior caso	66,7	76	41,35	66,69	13,22	197,27	222,61
	Melhor caso	46	60	19,66	31,68		138,88	150,9
VCI	Pior caso	35	143	-	-	-	-	178,0
	Melhor caso	33,3	143	-	-	-	-	176,3

O cálculo das perdas na rede foi considerado semelhante para todos os modos de interligação, embora se espere que o modo V2G tenha um maior impacto devido ao aumento do fluxo de potência (bidirecional). No entanto, como os dados utilizados consideraram apenas 10% dos VE nesse modo, neste estudo considerou-se que o valor não aumentou significativamente em comparação com outros modos. Isto deixará de ser aceitável se a percentagem de VE a funcionar no modo V2G for elevada.

Para os modos SC e CC-SC são consideradas as emissões devidas ao fabrico, ao carregamento e às perdas na rede de distribuição, resultando num total de 119,22 gCO₂e/km (melhor caso) a 155,92 gCO₂e/km (pior caso).

c) Discussão dos resultados:

De acordo com as características descritas na literatura, o modo V2G é o que apresenta mais benefícios e menos efeitos negativos para a rede [353]. No entanto, não é claro se tais benefícios aparentes resultam realmente numa opção mais sustentável do ponto de vista ambiental. Os resultados mostram que é o modo de integração que apresenta maiores emissões de CO₂, sendo por isso a pior opção. Neste modo, as emissões serão de 88,2% (melhor caso) a 125,6% (pior caso) do valor médio de emissões de um VCI (177,15 gCO₂e/km): no melhor cenário um VE terá menos 11, 8% do que um VCI e, no pior dos casos, terá mais 25,6% de emissões do

que um VCI. Estes resultados mostram que o modo V2G aumenta as emissões de CO₂ e, por conseguinte, reduz os benefícios da utilização de VE.

No modo G2V, as emissões irão variar entre 74,1% (melhor caso) e 111,4% (pior caso) do valor médio das emissões de um VCI: no melhor cenário um VE terá menos 25,9% que um VCI, e no pior caso terá mais 11,4% de emissões do que um VCI.

Os resultados para os modos V2G e G2V mostram que a necessidade de infraestruturas de comunicação, controlo, armazenamento e processamento de dados (que provocam emissões devido à utilização de recursos e ao consumo de energia no seu fabrico) e o seu funcionamento ao longo do tempo (que implica consumo de energia) pode levar a que a opção de usar um VE em vez de um VCI pode ser mais insustentável.

Para os modos SC e CC-SC, as emissões variarão entre 67,3% (melhor caso) e 88,0% (pior caso) do valor médio das emissões de um VCI: no melhor cenário um VE terá menos 32,7% do que um VCI e no pior dos casos, terá menos 12% de emissões do que um VCI. Estes valores são consistentes com os reconhecidos pela Agência Europeia do Ambiente (AEA), que afirma que, na melhor das hipóteses, um VE terá menos 17 a 30% de emissões em comparação com um VCI, mas pode, em alguns casos, ter mais emissões do que um VCI, considerando o mix de produção de eletricidade de 2018 na União Europeia [359].

Estes resultados estão também em linha com os resultados de [355]: “When comparing equal sizes, the EVs had 20%-27% lower lifecycle impact than the ICEVs”. Perante estes resultados, os modos de interligação SC e CC-SC são os que mais benefícios trazem para a sustentabilidade ambiental, pois apresentam as menores emissões de CO₂. Isto deve-se ao facto de não necessitarem de tantas infraestruturas de comunicação, controlo, armazenamento e processamento de dados.

Os resultados obtidos são consistentes com as reservas a nível da União Europeia sobre as expectativas dos benefícios ambientais dos VE em grande escala: “For a sustainable mobility system, electric vehicles alone will not be enough. Furthermore, production of electric vehicles will still require substantial resources and generate pollution” [359].

Estudos anteriores centrados na análise do ciclo de vida de um VE já demonstraram que os benefícios para a sustentabilidade ambiental dos VE em grande escala são diminutos e podem mesmo nem existir (dependendo da dimensão do VE, do país de fabrico ou do mix de produção de eletricidade). Mas os resultados do presente estudo mostram que isto também depende do modo de integração na rede dos VE em grande escala. Os resultados mostram que o modo de integração que é considerado na literatura como o mais promissor (nomeadamente a nível económico) para o sistema de energia elétrica (o modo V2G), é o pior do ponto de vista das emissões de CO₂, ou seja, para a sustentabilidade ambiental.

Sendo os modos SC e CC-SC os que apresentam menos emissões, mas os que apresentam mais problemas para o sistema de energia elétrica, será necessário encontrar um limite percentual de VE que permita o funcionamento seguro do sistema de energia elétrica sem ter

de recorrer a um sistema complexo de controlo com comunicações e processamento de dados (o que aumentaria as emissões). Desta forma, as emissões de CO₂ podem ser minimizadas.

O presente estudo centra-se na sustentabilidade ambiental, mas para se ter uma perspetiva mais abrangente (mais macro), deve também ser realizada uma análise da sustentabilidade económica. [346] estudou a sustentabilidade económica aplicada a Portugal. Este estudo indica que, para que haja benefícios económicos, é necessário ajustar os níveis de penetração de VE que se alinhem com o excesso de produção renovável existente; o que para o ano de 2016 e para Portugal foi de 25% da frota total de transporte.

Ou seja, uma grande percentagem de VE pode ser prejudicial para a sustentabilidade económica, pois se a produção renovável em excesso se esgotar, mais eletricidade terá de ser produzida a partir de outras fontes não renováveis, o que contraria os objetivos inicialmente pretendidos com os VE e cria custos económicos adicionais.

5.4.1.5 Conclusões específicas

O estudo específico descrito no ponto 5.7 permitiu construir um framework que identifica os principais contributos para as emissões de CO₂ resultantes da integração de VE em grande escala. Este é um contributo relevante para futuras pesquisas que pretendam analisar de forma mais completa e realista os impactos na sustentabilidade ambiental dos VE. Apresenta também o cálculo da estimativa das emissões de CO₂ numa macro perspetiva, permitindo uma avaliação mais ajustada do impacto dos VE em grande escala e uma comparação mais realista com as emissões dos VCI.

Este estudo específico mostra que considerar uma perspetiva macro no cálculo das emissões de CO₂ resultantes da utilização de VE em larga escala é essencial para estimar valores realistas. Mostra também que ter em conta apenas uma parte das potenciais fontes de emissões (visão micro) leva a subestimar as emissões de CO₂, o que pode induzir em erro as autoridades políticas, as empresas e a opinião pública relativamente ao investimento e utilização de VE.

Tendo em conta que a sustentabilidade ambiental é um problema grave que a Humanidade enfrenta atualmente, é importante que a engenharia e a ciência sejam eticamente responsáveis na informação que transmitem à sociedade e à própria comunidade científica, e até nas expectativas que criam relativamente a uma nova tecnologia. Para tal, a prudência e a responsabilidade ética são essenciais na comunicação das expectativas sobre a avaliação micro e macro dos impactos estimados de uma nova tecnologia.

Os resultados do presente estudo específico são uma estimativa baseada em resultados de vários estudos publicados em documentos científicos e não um cálculo exato, o que é uma das limitações do estudo. Neste estudo, as emissões resultantes de novas infraestruturas da rede de distribuição também não foram consideradas no cálculo das emissões globais. Tendo em conta estas limitações, são necessários mais estudos para estimar com mais exatidão as

emissões resultantes da utilização de VE em larga escala, comparando os diferentes modos de integração.

Os cálculos basearam-se em dados sobre o comportamento atual dos condutores, utilizando VCI. Ao utilizar um VE, o comportamento dos condutores pode mudar (como aconteceu com outras novas tecnologias), o que pode, por exemplo, levá-los a conduzir durante mais tempo. Mudanças no comportamento dos indivíduos, podem resultar na alteração das emissões de CO₂. Por isso, outra questão que merece investigação futura adicional é ter em conta a influência que uma nova tecnologia (neste caso os VE) pode ter na alteração do comportamento dos seus utilizadores e como isso pode afetar as emissões de CO₂.

As duas principais contribuições do estudo descrito neste ponto (5.7) são a criação de um framework e o cálculo da estimativa das emissões de CO₂ numa perspetiva macro. Estes são um contributo importante para futuros estudos na área das redes inteligentes e da integração de VE em grande escala. Além disso, a tomada de decisões por parte dos decisores políticos, dos agentes do sector económico e dos cidadãos comuns têm agora dados para decisões mais informadas. Este estudo é particularmente importante para a decisão sobre como integrar os VE na rede ou sobre mecanismos para alcançar a sustentabilidade ambiental.

Este estudo pode também ser um importante contributo para o ensino da engenharia, ao mostrar a importância (e responsabilidade ética) de analisar o impacto de uma nova tecnologia numa macro perspetiva.

Os resultados obtidos realçam o importante desafio que a área das redes inteligentes e dos VE têm para mostrar se a sua implementação em larga escala será claramente benéfica para a sustentabilidade ambiental.

5.4.2 Avaliação da Atividade Pedagógica VE+E+S

Para avaliar a Atividade Pedagógica VE+E+S os estudantes foram questionados antes e depois da atividade sobre um conjunto de afirmações para detetar alterações devidas à atividade. Responderam ao questionário pré atividade 25 estudantes, e ao inquérito pós atividade 27 estudantes (3 eram do sexo feminino); o que corresponde a todos os estudantes que frequentam a unidade curricular de Ética e Deontologia Aplicada à Engenharia da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no ISEC. O objetivo foi identificar se a atividade produziu mudanças relevantes na opinião dos estudantes sobre as afirmações. Tal poderá ser indicador de uma mudança de perspetiva ou de maior esclarecimento sobre os tópicos abordados na atividade. Os resultados estão resumidos na tabela 5.16. As afirmações usadas na avaliação (pré e pós atividade) foram:

- Afirmação A - "Os veículos elétricos são a solução para resolver o problema das emissões de CO₂ devidas ao setor dos transportes ligeiros de passageiros": antes da

atividade 44% discordavam e 24% concordavam com a afirmação; depois da atividade 70,3% discordavam e 14,8% concordavam, o que mostra que houve uma mudança da opinião/ perspectiva dos estudantes. Também se verificou uma grande redução dos que responderam não saber (de 32% para 14,8%), o que é indicador de que a atividade foi esclarecedora.

- Afirmação B - "Para avaliar a sustentabilidade, o mais importante é estudar minuciosamente uma parte de um sistema complexo e tornar essa parte muito eficiente.": após a atividade aumentou a percentagem dos estudantes que discordam da afirmação (de 66,7% para 85,2%) e reduziram os que concordavam (de 33,3% para 3,7%).
- Afirmação C - "Para avaliar a sustentabilidade, o mais importante é estudar de forma global as interações de um sistema complexo.": a atividade não mudou de forma relevante a opinião dos estudantes, pois quer antes, quer depois cerca de 90% concorda com a afirmação.
- Afirmação D - "Um bom engenheiro/a limita-se a estudar a parte do sistema que é da sua especialidade.": os estudantes que discordam da afirmação aumentaram após a atividade (de 60% para 81,5%) e os que concordavam reduziu substancialmente (de 40% para 11,1%).
- Afirmação E - "Os veículos elétricos são mais sustentáveis que os veículos de combustão interna.": antes da atividade, 44% discordavam e 36% concordavam com a afirmação; após a atividade, 51,8% discordavam e 22,2% concordavam com a afirmação. Após a atividade aumentou ligeiramente o número dos estudantes que não sabem (de 20% para 25%) indicando que podem ter ficado com dúvidas por esclarecer, ou a atividade precisar de mais tempo para que as dúvidas sejam esclarecidas.
- Afirmação F - "Os veículos elétricos são menos poluentes que os veículos de combustão interna porque não emitem gases de escape.": antes da atividade 28% discordavam e 56% concordavam com a afirmação; após a atividade, 33,3% discordavam e 40,7% concordavam com a afirmação. Aumentou o número dos estudantes que não sabem (de 16% para 25,9%) após a atividade, indicando que podem ter ficado com dúvidas por esclarecer. As respostas a esta questão indicam que a atividade não foi suficientemente esclarecedora para alguns dos estudantes.
- Afirmação G - "O uso de redes inteligentes (smart grids) tornam o uso da energia elétrica mais sustentável.": antes da atividade, 70,8% dos estudantes concordavam com a afirmação e 29,2% não sabiam; após a atividade 33,3% concordavam, 48,1% discordavam e 18,5% não sabiam. Após a atividade há um aumento dos que discordam da afirmação (de 0 para 48,1%) e uma redução dos que concordavam e dos que não sabiam.

Tabela 5.16 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”). Nota: nos casos assinalados com * usou-se uma escala de 3 pontos.

	A		B		C		D		E		F		G	
	pré	pós	Pré*	pós	Pré*	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós
1	24	37	66,7	63	8,3	3,7	60	51,9	16	25,9	16	25,9	0	18,5
2	20	33,3		22,2		3,7		29,6	28	25,9	12	7,4	0	29,6
3	32	14,8		11,1		3,7		7,4	20	25,9	16	25,9	29,5	18,5
4	16	7,4		0				7,4	20	14,8	40	14,8	62,5	22,2
5	8	7,4	33,3	3,7	91,7	88,9	40	3,7	16	7,4	16	25,9	8,3	11,1

Para averiguar o impacto da atividade na aprendizagem dos estudantes foram feitas algumas questões sobre conteúdos abordados na atividade. As respostas pré e pós atividade são apresentadas na tabela 5.17. Ao analisar as respostas constata-se que após a atividade há um aumento significativo das respostas corretas e uma diminuição muito grande das respostas “não sei” (no total das respostas, antes da atividade 80 respostas foram em “não sei” e após a atividade só 3 responderam “não sei”) e das respostas erradas.

Os estudantes também foram questionados sobre a atividade pedagógica após a sua aplicação:

- “Considera que o exemplo estudado na aula (impacto ambiental dos veículos elétricos em larga escala) é bom para mostrar como é importante usar uma análise/perspetiva macro em vez de uma micro?”
 - 77,8% dos estudantes consideraram que “sim, é muito bom e mostra isso muito bem
 - 18,5% consideraram que “sim, é razoável para esse objetivo”
 - 3,7% responderam que “sim, mas ainda tenho algumas dúvidas se o exemplo mostra isso”
- “Considero que a narrativa ao longo da atividade:”
 - 74,1% consideraram que “ajuda a compreender melhor o que está em causa/quais são os objetivos”
 - 18,5% consideraram que “ajuda a ver uma utilidade para o trabalho/estudo”
 - 3,7% responderam que “ajuda a motivar”
 - 3,7% responderam que “não ajuda nada”.

Apesar dos resultados serem muito positivos, quer no que diz respeito às aprendizagens objetivas e à opinião dos estudantes sobre a adequabilidade da atividade ao objetivo proposto, alguns resultados (nomeadamente a perceção dos estudantes quanto às afirmações) indicam que há necessidade de após a atividade promover um debate para clarificar os objetivos e esclarecer as dúvidas que persistam.

Tabela 5.17 - Percentagem dos alunos de acordo com as respostas a um conjunto de perguntas (semiabertas) sobre algumas questões relacionadas com os temas abordados na atividade. As possíveis respostas corretas estão sombreadas.

	Pré (%)	Pós (%)
Que problemas o uso de veículos elétricos em larga escala (sem nenhum sistema de controlo) pode trazer ao sistema de energia elétrica?		
Nenhum		
Necessidade de aumentar a rede de distribuição	28	40,7
Necessidade de mais produção de energia elétrica	40	14,8
Só trazem benefícios		
Mais perdas na rede		40,7
Dificuldade em controlar a tensão		
Dificuldade em controlar a frequência		
Facilita o consumo da energia renovável		
Possibilita usar as baterias dos veículos como sistema para armazenar energia	4	
Outra: "Reciclagem das baterias"	4	
Outra: "Reciclagem das baterias de lítio quando estiverem em fim de vida"	4	
Outra: "Necessidade de maior produção de baterias"	4	
Outra: "Libertação de gases pelas baterias que já não podem ser usadas"	4	
Outra: "Mais baterias = mais lítio extraído = mais poluição"		3,7
não sei	12	
Que vantagens tem o uso do modo V2G?		
Não sei quais as vantagens	20	7,4
Não sei o que é V2G	60	
Produzir mais energia renovável		3,7
Usar as baterias dos veículos elétricos para armazenar energia		25,9
Usar os veículos elétricos para controlar a frequência		7,4
Usar os veículos elétricos para controlar a tensão	4	7,4
Usar os veículos elétricos para consumir o excesso de energia renovável		7,4
Usar os veículos elétricos para aumentar o consumo de energia à noite		3,7
Controla o veículo elétrico		11,1
Causa menos consumo de energia que outras alternativas	4	
Tem necessidade de menos infraestruturas que outras alternativas		11,1
É mais sustentável que as alternativas	4	
É muito mais benéfico para o sistema de energia elétrico que as alternativas		11,1
Outra: "reciclagem das baterias"	4	
Outra: "não sei"	4	
Outra: "o uso de SC-CC"		3,7
Que vantagens tem o uso do modo G2V?		
Não sei quais as vantagens	16,7	3,7
Não sei o que é G2V	75	
Produzir mais energia renovável		
Usar as baterias dos veículos elétricos para armazenar energia	4,2	
Usar os veículos elétricos para controlar a frequência		3,7
Usar os veículos elétricos para controlar a tensão		3,7
Usar os veículos elétricos para consumir o excesso de energia renovável		3,7
Usar os veículos elétricos para aumentar o consumo de energia à noite	4,2	
Controla o veículo elétrico		
Causa menos consumo de energia que o V2G		22,2
Tem necessidade de menos infraestruturas que o V2G		33,3
É mais sustentável que as alternativas		3,7
É muito mais benéfico para o sistema de energia elétrico que as alternativas		
Outra: "controlo da carga"		3,7
Qual o modo de funcionamento ambientalmente mais sustentável?		
Não sei	36	
Não sei o que significa V2G ou G2V	60	
O V2G	4	3,7
O G2V		3,7
O sem controlo (SC)		14,8
O com condicionamento, mas sem controlo (CC-SC)		77,8
Nenhuma destas opções		
Outra		

Na perspetiva da docente, o principal problema durante a aplicação da atividade foi a necessidade de mais tempo para a sua aplicação. A atividade foi aplicada numa aula de 1h e 30min o que mostrou ser pouco tempo para que os estudantes assimilassem os diversos conceitos técnicos que eles desconheciam quase por completo (tal como mostram as respostas antes da atividade da tabela 5.17 e não permitiu dar tempo para um debate pós atividade e antes da resposta ao questionário. O debate foi feito na aula seguinte e já não se refletiu no questionário pós-atividade.

5.5 - Caso de aplicação: o mercado elétrico e a ética (Atividade Pedagógica ME+E)

O mercado elétrico foi criado em resposta ao incentivo à liberalização do sector da energia elétrica [374]. Atualmente, as atividades de produção (mercado grossista) e de comercialização (mercado retalhista) foram liberalizadas e passaram a funcionar em concorrência (para incentivar a eficiência e a melhor gestão dos recursos); e as atividades de transporte e distribuição funcionam como monopólios naturais com regulação económica dessas atividades [374].

O mercado elétrico caracteriza-se por uma elevada complexidade de funcionamento e por um elevado número de intervenientes no mercado. Esta complexidade e o número de intervenientes tenderá a crescer à medida que o mercado vai sendo expandido, em resultado de aglomerações de vários pequenos mercados (por exemplo, o Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL)) com vista a um eventual mercado maior (por exemplo, antevê-se o mercado único europeu de energia). Devido à elevada complexidade, houve a necessidade de criar entidades que regulam o mercado elétrico e os seus intervenientes [374].

A forma de funcionamento do mercado elétrico foi definida partindo do princípio de que todos os seus intervenientes atuam com boa fé (ética) e com o objetivo de promover concorrência perfeita, uma vez que se considera que esta garante “a alocação e gestão eficiente dos recursos, os preços dos bens e serviços tendem para os preços marginais de longo prazo e o número de empresas é o adequado.” [374, p. 57]. Este pressuposto, que está na base da criação e funcionamento do mercado elétrico, baseia-se num determinado conjunto de valores éticos e numa determinada visão ética sobre o que é desejável para a sociedade. Todo o sistema foi estruturado com expectativas idealizadas de que “os mecanismos de mercado transmitem sinais económicos aos clientes e utilizadores para introduzir utilizações mais eficientes dos bens e serviços e as condições de concorrência encarregam-se de defender adequadamente os utilizadores desses bens e serviços.” [374, p. 57].

Contudo, também se reconhecem riscos e potenciais problemas no funcionamento do mercado elétrico, nomeadamente “efeitos perversos originados pela atuação em regime de

monopólio ou mercado imperfeito” [374, p. 58].; e que na prática o mercado funciona de forma bastante “imperfeita”, “devido à excessiva concentração de meios de produção em algumas empresas; à assimetria da informação disponível em diversas entidades; à não completa separação das diversas áreas de atividade com a consequente possibilidade de existência de mecanismos de subsídio cruzada entre diversas delas (...) existindo entidades que poderiam ser beneficiadas de forma ilegítima.” [374, p. 58]. Para além disto, há também a necessidade de respeitar as limitações técnicas, como as leis de Kirchhoff, as condições técnicas de segurança e estabilidade do sistema e as limitações resultantes de não haver forma adequada para armazenar grandes quantidades de energia elétrica para guardar energia das alturas em que há produção excessiva, para as alturas em que há consumo excessivo.

Tendo por base casos reais, [375, p. 1005] alerta para os riscos de um mercado elétrico desregulado e para a importância do papel da ética no funcionamento do mercado: “(...) much attention has been focused on regulators, corporate accountants, and officers, and each group’s failure to act competently or ethically.”. As consequências de comportamentos não éticos podem conduzir a graves danos, nomeadamente ao “aumento brutal dos preços da eletricidade e a “blackouts”” [376] podendo causar “incalculable harm to families” [375, p. 1005].

Tendo em conta a importância dos mercados elétricos na sociedade contemporânea e a importância da ética para o seu bom funcionamento, foi criada uma atividade pedagógica que interliga os conteúdos de mercados elétricos com a ética. Pretendeu-se que a atividade servisse simultaneamente para promover consolidação de conhecimentos técnicos sobre o funcionamento do mercado elétrico, sobre o papel central que a ética tem no bom funcionamento do mercado e sobre os problemas que a falta de ética pode causar. A atividade foi implementada na fase final da unidade curricular de Mercados de Energia do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica (1ºano, 2ºsemestre) do ISEC, no ano letivo de 2023/2024. A unidade curricular é lecionada pelo docente Adelino Jorge Coelho Pereira, a quem se agradece a disponibilidade para a aplicação da atividade pedagógica.

Uma vez que se pretendia aplicar a atividade pedagógica numa unidade curricular de conteúdos técnico-científicos, optou-se por seguir a Opção A do framework desenvolvido (resumido na figura 5.3); isto é, partiu-se do tópico técnico científico e deste identificou-se uma dimensão ética a promover.

Aplicação do 1º passo: escolher um tópico técnico-científico

O tópico técnico científico escolhido foi: mercados elétricos, quer pela sua atualidade, quer pelo importante papel que tem e poderá ter no setor energético.

Aplicação do 2º passo: identificar dimensões éticas associadas com o tópico escolhido (tipo de conteúdos)

O mercado elétrico é um sistema de elevada complexidade e com um elevado número de intervenientes, que só terá os resultados desejáveis (nomeadamente, redução do preço da eletricidade e equilíbrio entre a produção e o consumo) se todos os intervenientes agirem de forma ética. Por esse motivo, a ética está subjacente ao funcionamento do próprio mercado elétrico. Cada um dos intervenientes pode alterar o bom funcionamento do mercado se agirem de forma não ética, levando a consequências nefastas para a sociedade.

Aplicação do 3º passo: escolher uma ou mais dimensões éticas

A dimensão ética escolhida foi: identificar a ética como fundamental ao bom funcionamento do sistema e que está subjacente aos seus pressupostos.

Aplicação do 4º passo: definir qual a competência que se pretende promover a partir da dimensão ética identificada

As competências (éticas) que se pretenderam promover com a atividade desenvolvida são:

- Identificar como todo o sistema está construído no pressuposto da existência de comportamento ético dos seus intervenientes (Memorizar - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada)
- Identificar os problemas/as consequências que podem surgir se houver comportamentos não éticos (Memorizar - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada)
- Relacionar a ética com os diversos intervenientes no sistema e com as suas possíveis ações (Compreender - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada)
- Explicar o funcionamento previsto (ideal) do sistema (Compreender - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada)
- Explicar e estimar como é que a falta de ética pode afetar o funcionamento do sistema (Analisar - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada) - prever consequências
- Explicar e estimar como é que problemas de sustentabilidade e alterações climáticas podem afetar o funcionamento do sistema (Analisar - nível de aprendizagem da taxonomia de Bloom atualizada) - prever consequências

Aplicação do 5º passo: subdividir a competência em objetivos pedagógicos

Para além dos objetivos pedagógicos do domínio da ética, também se pretendeu promover objetivos da área de mercados elétricos, nomeadamente fazer a revisão e consolidação dos conteúdos relativos aos aspetos mais importantes do funcionamento do mercado; permitir que os estudantes auto avaliem os próprios conhecimentos (tomando consciência das suas dúvidas,

espera-se que os estudantes se sintam motivados a estudar/esclarecer as dúvidas); e permitir ao docente identificar as dúvidas dos estudantes e esclarecê-las.

No domínio da ética, os objetivos incluem evidenciar possíveis exemplos de comportamentos não éticos e evidenciar as consequências que tais comportamentos podem ter no mercado elétrico.

Aplicação do 6º passo: Desenvolvimento da atividade pedagógica

Também foi objetivo desta atividade promover as aprendizagens num ambiente alegre, dinâmico, ativo e desafiador, colaborativo, em linha com o que foi referido no capítulo 3. Neste sentido, para a atividade pedagógica desenvolvida (designada por Atividade Pedagógica ME+E) foi escolhido usar um jogo educativo seguido de um debate como estratégia pedagógica. A atividade desenvolvida seria para aplicar a estudantes do nível de mestrado e para aplicar no final da unidade curricular, isto é, quando os estudantes já tinham conhecimentos sobre o funcionamento dos mercados.

O jogo desenvolvido (designado de Market Collapse) é de tabuleiro e de cartas, do tipo jogo de estratégia/roleta russa e competitivo (o que requer pouco tempo e poucos meios para a sua implementação) e permite simultaneamente promover a revisão e consolidação dos conhecimentos sobre mercados, e exemplificar como a ética é fundamental ao bom funcionamento do sistema e está subjacente aos seus pressupostos. Este jogo pode ser jogado em grupo ou individualmente e foi planeado para 5 grupos ou 5 pessoas, mas poderá ser ampliado (acrescentando perguntas) ou convertido em versão digital para turmas de grandes dimensões. Para turmas grandes também se podem subdividir os estudantes em subgrupos e cada um destes ter um jogo de tabuleiro.

O jogo decorre por rondas: a ordem pode ser aleatória ou definida com dados. Em cada ronda, cada grupo/pessoa tem que fazer uma ação, uma prova de conhecimentos ou apresentar uma carta de acontecimento de acordo com as cartas que tem; e tem que tirar 1 carta nova do baralho. Ganha quem tiver acumulado mais pontos no final do tempo/jogo. Cada estudante/grupo começa o jogo com 3 cartas que são retiradas do topo do baralho (baralhado) por ordem.

No jogo há vários tipos de cartas:

- **Cartas de Ação:** só contam para pontos as cartas que estão no baralho de mão (podem ter pontuação positiva ou negativa, tendo em conta se contribuem para o bom ou mau funcionamento do mercado)
- **Cartas de Não:** (não jogar naquela ronda)
- **Cartas de Prova de conhecimentos:**
 - Perguntas sobre o funcionamento do sistema: se acertarem dá pontos (cada grupo guarda as que acertar, mas não no baralho de mão)
 - Perguntas sobre ética: se acertarem ganham pontos (cada grupo guarda as que acertar, mas não no baralho de mão)

- **Cartas de Acontecimentos:** só contam para pontos as que estão no baralho de mão (podem ter pontuação positiva ou negativa, tendo em conta se contribuem para o bom ou mau funcionamento do mercado)
- **Cartas Surpresa** (para criar alegria e quebrar o gelo):
 - Todos os grupos trocam de baralho de mão
 - Trocar o baralho com o grupo do lado direito
 - Devolver uma carta à escolha ao baralho e tirar outra do baralho à sorte
 - Trocar o baralho com o grupo do lado esquerdo
 - Trocar o baralho com um grupo à escolha.

No centro da mesa vai sendo construída (de acordo com as cartas) uma pilha de blocos de madeira. Cada carta tem escrito os pontos a que corresponde e se influenciam (e como influenciam) a pilha de blocos. As cartas vão-se refletindo nos blocos que estão sobre a mesa (exceto as cartas de perguntas e as cartas “Não”). Algumas aumentam a pilha de blocos e outras diminuem-na. A pilha de blocos começa com 3 blocos. Quando a pilha cair (colapso do mercado) termina o jogo (se já tiver passado tempo suficiente) ou reinicia-se a pilha (se ainda não tiver dado tempo suficiente para a aprendizagem, o moderador do jogo/professor é que avalia a decisão).

Em cada ronda, cada grupo/pessoa tem que fazer uma ação de acordo com as cartas de Ação que tem; e tem que tirar 1 carta nova do baralho. Uma carta “Não” permite passar a sua vez sem fazer nenhuma ação. Algumas ações implicam ter 2 cartas: a de Ação e a correspondente ação. Se em qualquer momento do jogo um grupo/pessoa não tiver nenhuma carta de ação, pode tirar 2 cartas do baralho e passa a sua vez.

As várias cartas incluem:

- **Cartas de ação:** Ação (Proposta/Informação/Prova de conhecimento):
 - Fazer uma proposta ao “Day-ahead market” (ética ou não ética)
 - Entregar informação ao Operador do Sistema (ética ou não ética)
- **Cartas de Prova de conhecimento:** cada carta tem uma pergunta sobre o funcionamento do mercado - Acertar em perguntas dá 2 pontos no final
 - As cartas de perguntas estão numeradas e só contêm as perguntas. O moderador (professor) tem a lista das respostas - identificadas por número. O moderador é responsável por avaliar se a resposta está dentro do que é esperado (certa), ainda que por palavras diferentes.
- **Cartas Não:** permite passar a sua vez sem fazer nenhuma ação, mas também tem que tirar 1 carta do baralho

Exemplos de tipos de ação:

- **Cartas de Propostas:**
 - Proposta de compra (de um consumidor) - existem propostas honestas (valem 2 pontos) e desonestas - falta de ética (valem -5 pontos). Estas cartas

afetam a pilha de blocos (decrecem os blocos se forem honestas e aumentam a pilha de blocos se forme desonestas)

- Proposta de venda (de um produtor) - existem propostas honestas (valem 2 pontos) e desonestas - falta de ética (valem -5 pontos). Estas cartas afetam a pilha de blocos (decrecem os blocos se forem honestas e aumentam a pilha de blocos se forme desonestas)

- **Cartas de Entrega de Informação:**

- Informação de limites técnicos da rede de transporte ou para a rede de distribuição - existem propostas honestas (valem 2 pontos) e desonestas - falta de ética (valem -5 pontos). Estas cartas afetam a pilha de blocos (decrecem os blocos se forem honestas e aumentam a pilha de blocos se forme desonestas)
- Informação de necessidades de manutenção da rede de transporte ou para a rede de distribuição - existem propostas honestas (valem 2 pontos) e desonestas - falta de ética (valem -5 pontos). Estas cartas afetam a pilha de blocos (decrecem os blocos se forem honestas e aumentam a pilha de blocos se forme desonestas)
- Informação de necessidades de atualização da rede de transporte ou para a rede de distribuição - existem propostas honestas (valem 2 pontos) e desonestas - falta de ética (valem -5 pontos). Estas cartas afetam a pilha de blocos (decrecem os blocos se forem honestas e aumentam a pilha de blocos se forme desonestas).

Para fazer uma Ação de “Proposta ao Mercado” é necessário ter uma carta de “Proposta de Compra” ou de “Proposta de Venda”. Ganha quem no fim tiver mais pontos, somando os pontos de respostas a perguntas que acertaram e os pontos das cartas que têm em mão.

Após o jogo há um debate que deve focar as seguintes questões:

- O que é que acham que o jogo representa?
- O que é que os blocos representam?
- Que tipos de Propostas havia?
 - O que representava cada tipo de propostas?
 - Que consequências cada tipo de propostas tinha nos blocos?
- Que tipo de informações havia?
 - O que representava cada tipo de informação?
 - Que consequências cada tipo de informação tinha nos blocos?
- O que é que aprenderam com o jogo?
- O funcionamento do mercado pode estar bem estruturado, mas há um elemento central que pode levar ao seu mau funcionamento ou até ao seu colapso (que leva a obter-se efeitos opostos aos pretendidos). Qual é?

- O mercado também era afetado por acontecimentos: que tipo de acontecimentos é que existiam? Como afetavam o mercado?

5.5.1 Avaliação da Atividade Pedagógica ME+E

Os estudantes foram questionados antes e após a Atividade Pedagógica ME+E para procurar averiguar se a atividade tinha tido efeitos benéficos sobre a sua opinião ou conhecimentos. Responderam aos inquéritos 100% dos alunos presentes em aula, o que corresponde a 8 alunos.

Durante a atividade os estudantes foram assumindo que não sabiam a resposta a várias questões ou responderam erradamente, o que proporcionou que o docente esclarecesse as dúvidas e corrigisse os erros dos estudantes.

No inquérito pré e pós atividade os estudantes foram questionados sobre o seu grau de concordância relativamente a um conjunto de afirmações:

- Afirmação A - “O preço da eletricidade no Mercado Elétrico liberalizado depende apenas dos cálculos matemáticos que são feitos pelas entidades competentes”. Quer antes, quer depois da atividade, todos os estudantes discordam da afirmação, mas depois da atividade é maior o número dos estudantes que discorda totalmente (passa de 55,6% para 87,5%).
- Afirmação B - “Para que o Mercado Elétrico funcione bem, o mais importante é o modelo matemático que é usado para obter o menor custo da eletricidade”. Após a atividade aumentou o número dos estudantes que discorda da afirmação (passou de 33,3% para 87,5%), reduziu o número dos estudantes que não sabem (que passou de 55,6% para 0) e deixou de haver alunos a concordarem com a afirmação (antes da atividade eram 12,5%).
- Afirmação C - “O preço da eletricidade no Mercado Elétrico liberalizado é sempre mais baixo que no Mercado Regulado”. Antes da atividade, os estudantes distribuíam-se pelas opções de discordar (totalmente ou parcialmente), não saber e concordar (parcialmente e totalmente). Após a atividade, os estudantes concentraram-se nas opções de discordar (no total de 52,5%) e aumentou o número dos que não sabem (de 12,5% para 37,5%), o que poderá ser indicador que a atividade levantou dúvidas aos estudantes sobre esta questão.
- Afirmação D - “Para que o Mercado Elétrico funcione bem, o mais importante é o modelo matemático que é usado para obter o menor custo de operação e manutenção da rede de transporte e da rede de distribuição”. Antes da afirmação, 22,2% dos estudantes discordam totalmente da afirmação e 11,1% discorda parcialmente; 33,3% concordam parcialmente com a afirmação e a mesma percentagem não sabe. Após a atividade aumentou a percentagem dos estudantes

que discordam da afirmação (de 33,3% antes, para 62,5%). A percentagem dos que não sabem ficou semelhante.

- Afirmação E - “Para que o Mercado Elétrico funcione bem, o mais importante é minimizar os custos de produção de eletricidade e de manutenção da rede”. Antes da atividade: a mesma percentagem de 11,1% discordou totalmente, parcialmente e não sabe; 44,4% concordou parcialmente e 22,2% concordou totalmente. Após a atividade: 12,5% foi a percentagem dos estudantes que discordaram parcialmente ou totalmente; 37,5% não sabem, e a mesma percentagem concordou parcialmente. Assim, após a atividade, diminuiu a percentagem dos estudantes que concordam com a afirmação (antes eram 66,6% e após são 37,5%) e aumentaram os que não sabem (de 11,1% para 37,5%) o que pode ser indicador de que os estudantes ficaram com dúvidas sobre este tópico, mas já não reconhecem que o mais importante é minimizar os custos de produção de eletricidade e de manutenção da rede.
- Afirmação F - “O modo de funcionamento do Mercado Elétrico liberalizado é muito rígido e, por isso, não pode ser adulterado”. Antes da atividade 44,4% discordam da afirmação; 44,4% não sabem e 11,1% concordam totalmente. Após a atividade, 62,5% discordam totalmente da afirmação e 37,5% não sabem. Nenhum estudante concorda com a afirmação após a atividade.
- Afirmação G - “O modo de funcionamento do Mercado Elétrico liberalizado é definido por cálculos e processos matemáticos, por isso é muito bem definido e fixo”. Antes da atividade, 22,2% dos estudantes discordam totalmente, parcialmente e concordam parcialmente; 33,3% não sabem. Após a atividade aumentou o número dos estudantes que discordam (de 44,4% antes, para 87,5% depois) e apenas 12,5% não sabe. Nenhum estudante concorda com a afirmação após a atividade.
- Afirmação H - “Para que o Mercado Elétrico funcione bem, o mais importante é que os intervenientes no Mercado tenham ética”. Todos os estudantes concordam com a afirmação: antes da atividade, 22,2% concordam parcialmente e 77,8% totalmente; após a atividade todos os estudantes concordam totalmente com a afirmação.
- Afirmação I - “As informações prestadas pela entidade que gere a rede de transporte ou de distribuição são cruciais para a definição do preço final ao consumidor”. Após a atividade aumenta o número dos estudantes que concordam com a afirmação (passa de 77,8% para 87,5%) e diminui de 22,2% para 0 o número dos que não sabem.

Na Tabela 5.18 Apresenta-se o resumo das percentagens para cada afirmação, antes e depois da atividade.

Tabela 5.18 - Opinião dos estudantes sobre as várias afirmações em estudo (percentagem de estudantes que escolheram cada uma das opções da escala de Likert de 5 pontos, em que 5 corresponde a “concordo completamente com esta afirmação” e 1 corresponde a “discordo completamente desta afirmação”).

	A		B		C		D		E		F		G		H		I	
	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós	pré	pós
1	44,4	87,5	22,2	50	33,3	50	22,2	25	11,1	12,5	22,2	50	22,2	37,5	0	0	0	12,5
2	55,6	12,5	11,1	37,5	22,2	12,5	11,1	37,5	11,1	12,5	22,2	12,5	22,2	50	0	0	0	0
3	0	0	55,6	0	11,1	37,5	33,3	37,5	11,1	37,5	44,4	37,5	33,3	12,5	0	0	22,2	0
4	0	0	11,1	0	22,2	0	33,3	0	44,4	37,5	0	0	22,2	0	22,2	0	22,2	12,5
5	0	0	0	12,5	11,1	0	0	0	22,2	0	11,1	0	0	0	77,8	100	55,6	75

Também foram feitas algumas questões sobre conteúdos abordados nas aulas e também no jogo. O objetivo foi avaliar se o jogo tinha melhorado os conhecimentos dos estudantes. Os resultados são apresentados na tabela 5.19. Da análise da tabela constata-se que após o jogo aumentou a percentagem dos estudantes que responderam corretamente às questões. Durante a aplicação do jogo houve 1 estudante que chegou bastante atrasado e não se conseguiu integrar na atividade de forma satisfatória, o que justifica o facto de haver 12,5% de escolhas em opções claramente erradas mesmo após o jogo. Após o jogo também nenhum estudante escolheu a opção de resposta “não sei”.

Os estudantes também foram questionados sobre se concordam ou não com a afirmação: “A ética de cada entidade influencia os resultados dos cálculos do preço da energia para o consumidor final”. A figura 5.24 mostra os resultados pré e pós atividade, evidenciando-se que antes do jogo alguns estudantes tinham dúvidas sobre se a ética das entidades que atuam no mercado elétrico influenciaria ou não os preços finais, mas após o jogo todos os estudantes reconheceram essa influência.

Após o jogo pediu-se aos estudantes para avaliarem o próprio jogo e 100% dos estudantes consideraram que o jogo tornou a aula mais interessante, mais ativa e participativa, mais eficiente, mais motivadora que as aulas tradicionais. Para 87,5% dos estudantes, a opção do uso do jogo foi uma melhor opção do que uma aula tradicional e para 12,5% o jogo é um bom complemento às aulas tradicionais que são muito teóricas.

Questionados se recomendam o uso de jogos educativos para outras unidades curriculares, 87,5% escolheu a opção que “Sim, sem dúvida!” e 12,5% escolheu a opção “Sim.”

Quanto às aprendizagens que o jogo proporcionou sobre a importância da ética no funcionamento do mercado elétrico, 75% dos estudantes respondeu que aprendeu “muitas coisas sobre esse assunto”; 12,5% responderam que aprenderam “algumas coisas sobre esse assunto”; e 12,5% responderam que aprenderam “tudo o que sabem sobre esse assunto”.

Tabela 5.19 - Percentagem dos alunos de acordo com as respostas a um conjunto de perguntas sobre algumas questões relacionadas com os temas abordados no jogo. As respostas corretas estão sombreadas.

	Pré (%)	Pós (%)
No Mercado de energia liberalizado os produtores podem-se agrupar para definirem o preço a propor ao Mercado?		
Sim, porque o Mercado é livre (liberalizado)	33,3	12,5
Sim, porque cada produtor define o que quiser e associa-se a quem quiser		
Sim, porque isso vai beneficiar o preço da energia		
Não, porque isso não é permitido	33,3	50
Não, porque isso vai prejudicar o preço da energia	22,2	37,5
Não, porque quem define o preço é o Operador do Sistema		
Não sei	11,1	
No Mercado de energia liberalizado os produtores podem normalmente optar por não fornecer a energia que lhes tinha sido despachada, apesar de tecnicamente o poderem fazer?		
Sim, porque o Mercado é livre (liberalizado)		12,5
Sim, porque cada produtor define o que quiser e só produz se quiser		
Sim, porque isso vai beneficiar o preço da energia		
Não, porque isso não é permitido	55,6	50
Não, porque isso vai prejudicar o preço da energia	11,1	37,5
Não, porque quem define se cada central produz é o Operador do Sistema	33,3	
Não sei		
Haver várias entidades produtoras que pertencem a um mesmo grupo económico prejudica ou beneficia o Mercado?		
Beneficia, porque assim podem gerir melhor os preços e a potência a propor ao Mercado	22,2	12,5
Beneficia, porque assim têm mais poder no Mercado		
Beneficia, porque se podem ajudar uns aos outros		
Nem beneficia, nem prejudica, porque não influencia o Mercado		
Prejudica, porque assim podem controlar os preços	55,6	75
Prejudica, porque se um falir, podem falir também os outros		
Prejudica, porque isso é prejudicial ao pressuposto funcionamento do Mercado	11,1	12,5
Não sei	11,1	
Se a entidade que gere a rede de transporte ou de distribuição esconder dados sobre o estado da rede, isso é benéfico ou prejudicial?		
É benéfico para a entidade que gere a rede de transporte ou de distribuição	11,1	
É benéfico para o consumidor final, porque paga menos		
É benéfico para o Operador do Sistema, porque tem menos contas a fazer		
É prejudicial para o consumidor final, porque paga mais	11,1	25
É prejudicial para o consumidor final, porque terá menor qualidade de serviço	44,4	62,5
É prejudicial para o Operador do Sistema, porque tem mais contas a fazer	22,2	12,5
Não sei	11,1	

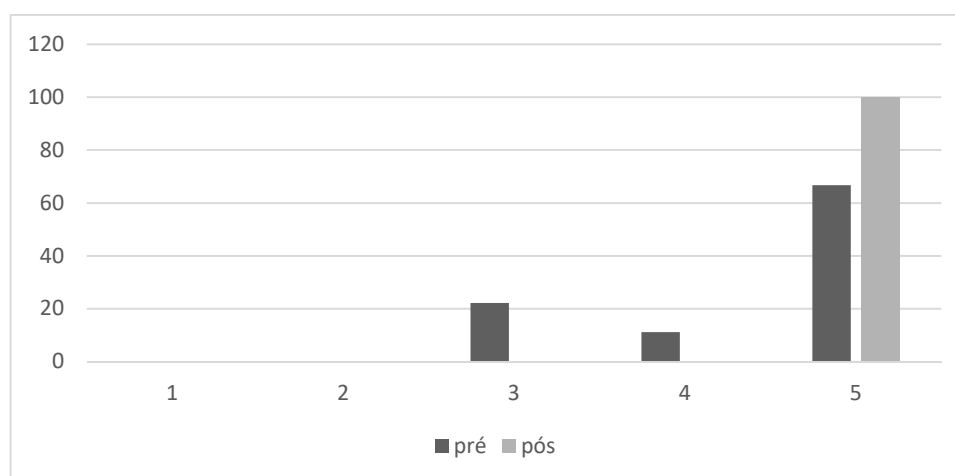


Figura 5.24 - Resultados em percentagem, das respostas pré e pós atividade sobre o grau de concordância com a afirmação: "A ética de cada entidade influencia os resultados dos cálculos do preço da energia para o consumidor final", em que 1 corresponde a "discordo totalmente" e 5 corresponde a "concordo totalmente".

Relativamente ao jogo:

- 87,5% dos estudantes disseram que o jogo era muito interessante e 12,5% disseram que era interessante;
- a sua jogabilidade era muito boa para 75% dos estudantes e boa para 25%.
- para 87,5% dos estudantes, o tempo foi suficiente e para 12,5% foi insuficiente para o jogo;
- a adequabilidade do jogo ao perfil dos jogadores é totalmente adequada para 87,5% e adequada para 12,5%;
- quanto ao nível de dificuldade, o jogo é muito fácil para 12,5%, fácil para 37,5% e 50% considera que nem é fácil e nem é difícil;
- quanto à motivação ao longo do jogo, 37,5% considera que se mantém constante e alta ao longo do jogo; para 50% vai crescendo ao longo do jogo e para 12,5% varia aleatoriamente ao longo do jogo, com picos altos e baixos;
- quanto aos elementos (cartas/imagens) do jogo, 75% consideraram que eram muito adequados; 12,5% consideraram que eram adequados e 12,5% não sabem;
- relativamente ao empenho dos estudantes ao longo do jogo, 87,5% considerou que gostou de jogar e esteve empenhado e 12,5% escreveu que “gostei de jogar e no começo não estava empenhado pois não havia percebido o objetivo do jogo, durante o meio/fim do jogo comecei a ficar mais empenhado.

5.6 - Conclusões do capítulo

É imprescindível interligar a formação ética com os conteúdos técnico-científicos de cada uma das áreas da engenharia (no presente estudo, da engenharia eletrotécnica) para que a formação ética seja mais eficaz e para que o exercício profissional da engenharia seja eticamente mais responsável.

As principais contribuições deste capítulo respondem à subquestão de investigação Q2 (Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?) na vertente Q2.2 (No enquadramento de UCs técnico-científicas que incluem alguma parte de formação ética, que conteúdos e instrumentos pedagógicos são adequados?), bem como do ponto de vista da avaliação dos instrumentos pedagógicos desenvolvidos (Q2.3 - Conhecido um determinado enquadramento, avaliar o uso dos instrumentos pedagógicos).

Perante este pressuposto, o presente capítulo tinha por principal objetivo a construção de um framework para facilitar o desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação de formação ética (e para a sustentabilidade) com conteúdos técnico-científicos. Este framework foi submetido para publicação na revista científica *European Journal of Engineering Education* e o respetivo artigo encontra-se em fase de ajustes após primeira revisão por pares.

Para avaliar a sua aplicabilidade e ilustrar a sua aplicação prática, apresentam-se 3 exemplos concretos aplicados a 3 diferentes áreas da engenharia eletrotécnica. Assim, recorrendo ao framework proposto, criaram-se 3 atividades pedagógicas com 3 objetivos diferentes, que conciliam a formação ética e formação técnico-científica em simultâneo. Apesar das 3 atividades serem aplicadas à engenharia eletrotécnica, o framework poderá ser usado para qualquer outra área e cada tipo de cada atividade pedagógica descrita pode ser adaptado para conteúdos de outras áreas da engenharia.

Uma das atividades desenvolvidas teve por principal objetivo evidenciar como a perspetiva ética influencia os métodos de cálculo usados na engenharia. Para isso, a atividade pedagógica foi aplicada à área das instalações elétricas. Esta atividade permite explicitar como na prática as diferentes valorizações de valores éticos (como a segurança técnica, a economia de curto prazo, os impactos no meio ambiente ou a sustentabilidade) podem resultar em diferentes métodos e formulações de cálculo para a secção dos condutores a usar numa instalação elétrica. O exemplo desenvolvido e descrito nos pontos 5.3, 5.4 e 5.5 (Atividade Pedagógica IE+E+S) interliga (promovendo a interdisciplinaridade) a ética à área das instalações elétricas e da sustentabilidade.

Para a implementação da Atividade Pedagógica IE+E+S, foi necessário fazer o estudo sobre os diferentes métodos para o cálculo da secção dos condutores. Este estudo mostrou que as propostas existentes na literatura para o cálculo da secção ambientalmente mais sustentável eram ou muito complexas ou pouco práticas, no se tendo encontrado uma forma explícita de cálculo das emissões totais e nem da secção que minimiza as emissões de CO_2 (que se designou de S_{amb}). Perante isso, no ponto 5.4 deduziu-se a expressão para calcular as emissões totais de CO_2 de um condutor, e a expressão para calcular a secção que minimiza as emissões totais de CO_2 (expressão (5.42)). Esta expressão permite o cálculo direto e simples da secção ambientalmente mais sustentável (S_{amb}).

Também não se encontrou na literatura nenhum método explícito para o cálculo da secção mais sustentável (incluindo a dimensão económica e ambiental da sustentabilidade), pelo que se deduziu uma expressão que permite calcular a secção mais sustentável de forma direta e simples (expressão (5.60)). A sua aplicação permitiu concluir que a secção mais sustentável é bastante próxima da secção mais económica, uma vez que no cálculo da secção mais económica também é tido em conta o impacto das perdas de Joule nos condutores (que é a principal componente que influencia a sustentabilidade ambiental e a dimensão económica). Tendo em conta que o cálculo mais exato da secção mais sustentável implica um processo iterativo (o cálculo da secção depende da temperatura de funcionamento do condutor, e esta depende da secção), apresenta-se no ponto 5.4 um fluxograma para a sequência do seu cálculo. No entanto, reconhece-se que nos cálculos práticos este processo pode ser simplificado, pois a influência da temperatura no cálculo da secção é pequena, e por isso pode ser desprezada.

Os resultados da aplicação da atividade pedagógica que interliga a ética, as instalações elétricas e a sustentabilidade (Atividade Pedagógica IE+E+S) mostraram que a atividade foi eficiente para alcançar os objetivos pretendidos: permitiu que os estudantes reconhecessem que os valores éticos influenciam os métodos usados para o cálculo e aprenderam as várias alternativas para o cálculo da secção. Deste modo, a atividade possibilita que os estudantes reconheçam o papel central da ética na prática da engenharia, que reconheçam que a prática da engenharia não é eticamente neutra, e há várias possibilidades de fazer os cálculos técnicos e que dependem dos valores que mais se valorizam. O facto de os estudantes conhecerem diferentes métodos e perspetivas para o cálculo da secção permite que estes sejam mais responsáveis na sua futura prática profissional, nomeadamente no que diz respeito à promoção da sustentabilidade.

No presente capítulo também se descreve (nos pontos 5.6, 5.7 e 5.8) o desenvolvimento de uma atividade pedagógica que interliga os VE em larga escala, a ética e a sustentabilidade (Atividade Pedagógica VE+E+S). Para a construção da atividade pedagógica foi feito um estudo sobre as emissões de CO₂ dos VE numa macro perspetiva (este estudo foi publicado na revista *Applied Sciences*). As duas principais contribuições de estudo sobre as emissões de CO₂ dos VE numa macro perspetiva são a criação de um framework para facilitar o cálculo das emissões de CO₂ dos VE em larga escala; e o cálculo da estimativa das emissões de CO₂ dos VE numa macro perspetiva para diferentes opções de interligação dos VE com o SEE. Estes contributos são importantes para facilitar estudos futuros na área das redes inteligentes e sobre a integração de VE em grande escala. O estudo também facilita a tomada de decisões por parte dos decisores políticos, dos agentes do sector económico e dos cidadãos comuns uma vez que disponibiliza mais informações sobre a integração de VE em larga escala e os modos de promover essa integração com o sistema de energia elétrica. Este estudo é particularmente importante para os decisores que vão escolher qual o modo de integrar os VE na rede ou sobre os mecanismos para alcançar a sustentabilidade ambiental na área dos transportes ligeiros de passageiros. Este estudo também pode ser um importante contributo para o ensino da engenharia, ao mostrar a importância e responsabilidade ética de analisar o impacto de uma nova tecnologia numa macro perspetiva.

A Atividade Pedagógica VE+E+S (descrita nos pontos 5.9 e 5.10) permitiu interligar os VE em larga escala, a ética e a sustentabilidade alertando os estudantes para os erros que podem ser cometidos ao usar apenas uma micro perspetiva; e para reconhecer que abranger uma macro perspetiva, nomeadamente na análise do impacto ambiental de uma nova tecnologia, é uma responsabilidade ética. A avaliação da atividade mostrou que esta permitiu alcançar os objetivos pretendidos. Contudo, salienta-se que a atividade necessitaria de mais tempo para ter ainda melhores resultados, uma vez que os estudantes quando fizeram a atividade não tinham estudado os VE e os seus potenciais modos de interligação à rede em nenhuma unidade curricular. Apesar disso, após a atividade, o questionário mostrou que os estudantes, em geral,

aprenderam conteúdos técnicos sobre os tópicos abrangidos pela atividade e também aumentaram a sua sensibilidade ética relativamente à importância de abranger o todo (macro visão) e não apenas uma parte (micro visão), tal como era pretendido.

No ponto 5.9 do presente capítulo é apresentada a Atividade Pedagógica ME+E, que é composta por um jogo educativo de tabuleiro (Market Collapse) e por um debate. Esta atividade interliga o mercado elétrico e a ética, focada no comportamento individual (microética). O jogo permitiu que os estudantes reconhecessem a ética como o elemento crucial para o bom funcionamento dos mercados, para além de ter permitido fazer revisões, detetar e esclarecer dúvidas, e permitiu que os estudantes fizessem a sua autoavaliação de modo a se prepararem melhor para a avaliação da unidade curricular. Os resultados mostram em geral um efeito muito positivo, quer no domínio dos objetivos na área da ética, quer nos conhecimentos sobre o comportamento do mercado. Os estudantes também beneficiaram do uso de um método pedagógico ativo, dinâmico, alegre e participativo que os estudantes apreciaram. Contudo, a grande vantagem da aplicação do jogo foi permitir que os estudantes tenham reconhecido como a ética está subjacente à organização e ao modo de funcionamento do mercado, e quais as consequências que podem advir da falta de ética pelos diversos intervenientes no mercado. Tal reforça a importância da atuação eticamente responsável a nível individual (microética).

Capítulo 6

Conclusões

“A new scope of the electrical engineering shall be the ethical design and management, and the environmental sensitivity.” [241]

Tal como referido no capítulo 1, o presente trabalho de investigação focou-se na questão principal de investigação (Q0): como promover a formação ética dos estudantes de engenharia (com foco na engenharia eletrotécnica) usando instrumentos que sejam pedagogicamente adequados e eficazes? Esta questão de investigação principal foi dividida em duas subquestões:

- Q1 - Que competências se pretendem alcançar com a formação ética?
- Q2 - Que instrumentos pedagógicos podem ser usados para promover a formação ética dos estudantes de engenharia (eletrotécnica) de forma eficaz?

O trabalho de investigação permitiu responder à subquestão Q1 (estudo descrito no capítulo 3) e à subquestão Q2 nas suas 3 vertentes:

- Q2.1 - No enquadramento de uma unidade curricular dedicada especificamente à formação ética, que conteúdos e instrumentos pedagógicos são adequados? - que foi respondida nos estudos específicos apresentados no capítulo 4;
- Q2.2 - No enquadramento de unidades curriculares técnico-científicas que incluem alguma parte de formação ética, que conteúdos e instrumentos pedagógicos são adequados? - que foi respondida nos estudos específicos apresentados no capítulo 5;
- Q2.3 - Conhecido um determinado enquadramento, avaliar o uso dos instrumentos pedagógicos - que foi respondida nos estudos específicos apresentados no capítulo 4 e no capítulo 5 (avaliação das ferramentas pedagógicas desenvolvidas e implementadas).

Tendo em conta os objetivos inicialmente previstos para o trabalho de investigação, estes foram integralmente cumpridos: construção do referencial das competências éticas que a formação ética em engenharia deve promover; construção e avaliação de ferramentas pedagógicas para promoção de formação ética para estudantes de engenharia eletrotécnica em unidade curricular específica e também em unidades curriculares técnico-científicas (interligando a formação ética com conteúdos técnico-científicos); bem como a publicação de artigos científicos em revistas científicas e em congressos internacionais.

O trabalho de investigação feito e descrito neste documento resultou em diversas contribuições para a implementação prática da formação ética em engenharia (com foco na engenharia eletrotécnica) mas também em domínios técnicos da eletrotecnia. Salienta-se que contribuir para a promoção da formação ética nos cursos de engenharia eletrotécnica, é contribuir para promover uma prática eticamente mais responsável da engenharia eletrotécnica.

Para responder à questão de investigação principal e às subquestões, foram feitas investigações específicas, nomeadamente para definir quais as competências que se pretendem alcançar com a formação ética (subquestão Q1), pois estas são necessárias para se definirem conteúdos, estratégias e ferramentas pedagógicas. Esta investigação específica é descrita no capítulo 3, tendo-se investigado quais as competências éticas que são necessárias à prática profissional da engenharia: considerando os documentos das entidades responsáveis pelo exercício profissional da engenharia (Ordem dos Engenheiros e Ordem dos Engenheiros Técnicos), e de uma entidade de referência a nível da engenharia eletrotécnica (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE). Também se consideraram as publicações científicas na área. A partir deste estudo específico construiu-se um referencial das competências éticas que devem ser promovidas pela formação ética em engenharia e uma proposta de planeamento de uma unidade curricular específica de formação ética (estudo específico apresentado no capítulo 3). A definição das competências que a formação ética deve promover permite criar instrumentos pedagógicos, mas também aferir da eficácia da formação. Este estudo específico foi publicado na revista científica *London Review of Education*.

Outra vertente da investigação feita focou-se no desenvolvimento de instrumentos pedagógicos para serem usados na formação ética dos estudantes de engenharia (subquestão Q2), com foco na engenharia eletrotécnica. As ferramentas pedagógicas desenvolvidas e testadas dividem-se em 2 grupos: as desenvolvidas para aplicar em unidades curriculares específicas de formação ética (Q2.1); e as que foram desenvolvidas para aplicar em unidades curriculares técnico-científicas, interligando os conteúdos técnico-científicos e a ética (Q2.2). As ferramentas desenvolvidas foram testadas em sala de aula, em unidades curriculares dos cursos de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do ISEC e da FEUP e do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica do ISEC. Foram recolhidos dados para avaliar a sua adequação aos objetivos pretendidos e a sua eficácia na aprendizagem dos estudantes (o que

permitiu responder à subquestão Q2 na vertente Q2.3). Os resultados (apresentados nos capítulos 4 e 5) mostram que os instrumentos pedagógicos desenvolvidos são adequados e eficazes, constituindo um importante contributo para fomentar a formação ética dos estudantes de engenharia eletrotécnica e para uma melhor futura prática profissional dos diplomados.

6.1 Principais contribuições

Das várias contribuições destacam-se as ferramentas / atividades pedagógicas desenvolvidas:

- o jogo educativo Ethical Betrayal (jogo de tabuleiro para ser jogado em grupo e em sala de aula) possibilita cativar, sensibilizar e motivar os estudantes para a formação ética e para a valorização da ética na prática profissional da engenharia. O jogo também permite um primeiro contacto com os códigos deontológicos (da engenharia) e com algumas correntes éticas contemporâneas. O estudo específico relativo ao jogo Ethical Betrayal foi publicado na revista científica *Journal of Applied Research in Higher Education* e foi premiado pela Ordem dos Engenheiros - Região Centro;
- o jogo educativo GiSphera-building (jogo de tabuleiro para ser jogado em grupo e em sala de aula) promove a compreensão e o compromisso com a resolução dos desafios relacionados com a sustentabilidade, numa perspetiva ética. O estudo específico relativo ao jogo GiSphera-building foi publicado na revista científica *The Journal of Environmental Education*;
- a Atividade Pedagógica VE+E+S permite reconhecer e compreender a importância e responsabilidade ética de analisar o impacto de uma nova tecnologia numa macro perspetiva (atividade sobre a integração dos VE em larga escala). Esta atividade permite interligar a ética com a sustentabilidade e conteúdos técnico-científicos e promove conhecimentos técnicos sobre as várias opções de integração dos VE na rede, nomeadamente sobre os modos V2G e G2V. Também permite aprendizagens sobre os possíveis impactos dos VE em larga escala no SEE;
- o jogo educativo EdScape, que é uma estrutura reconfigurável e flexível para aprendizagem em qualquer área, foi testado para a área da formação ética de modo a promover a consolidação ou aprendizagem de conceitos sobre as correntes éticas contemporâneas. Trata-se de um jogo digital do tipo “escape room” que é mais adequado para ser jogado fora da sala de aula e individualmente. Este jogo também pode ser útil para treino ou autoavaliação individual;
- jogo educativo Market Collapse (jogo de tabuleiro para ser jogado em grupo ou individualmente e em sala de aula) permite reconhecer e compreender a ética como o elemento crucial para o bom funcionamento do mercado elétrico, para além de

permitir fazer revisões, detetar e esclarecer as dúvidas. Esta atividade permite interligar a ética com conteúdos técnico-científicos da área do mercado elétrico;

- a Atividade Pedagógica IE+E+S permite evidenciar que a prática da engenharia não é eticamente neutra, mostrando que a perspetiva ética influencia os métodos de cálculo usados na engenharia, usando como exemplo a área das instalações elétricas. A atividade desenvolvida permite evidenciar que valorizar de forma diferente os valores éticos (segurança técnica, economia de curto prazo, impactos no meio ambiente ou sustentabilidade) resulta em diferentes soluções técnicas. A atividade desenvolvida também permite que os estudantes aprendam aspetos técnicos, como é exemplo o dimensionamento da secção mais económica, o cálculo do tempo de vida útil de um condutor, o dimensionamento que minimiza as emissões de CO₂ (impacto ambiental) e o dimensionamento que é mais sustentável (minimizando as emissões de CO₂ e os custos de investimento e de exploração). Esta atividade permite interligar a ética com a sustentabilidade e conteúdos técnico-científicos da área das instalações elétricas;

Para além do que estava inicialmente previsto, o trabalho de investigação também resultou noutros contributos, tais como:

- a criação de um framework para auxiliar no estudo das emissões de CO₂ dos VE, numa macro perspetiva, em função do modo de integração dos VE na rede; bem como o cálculo da estimativa (aplicável aos países da União Europeia) das emissões de CO₂ associadas aos VE em larga escala numa macro perspetiva. Tal é importante para informar os decisores que vão escolher qual o modo de integrar os VE na rede, ou sobre os mecanismos para alcançar a sustentabilidade ambiental na área dos transportes ligeiros de passageiros. Estes contributos deram origem a um artigo publicado na revista científica Applied Sciences;
- a dedução de uma expressão que permite o cálculo direto e simples da secção ambientalmente mais sustentável (minimizar as emissões de CO₂);
- a dedução de uma expressão que permite calcular a secção mais sustentável de forma direta e simples, incorporando simultaneamente a sustentabilidade ambiental e económica;
- a construção de um framework para facilitar o desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação de formação ética (e para a sustentabilidade) com conteúdos técnico-científicos (o que deu origem a um artigo que foi submetido à revista científica European Journal of Engineering Education, e que se encontra em processo de ajustes após primeira revisão por pares);
- o desenvolvimento de ferramentas ativas de aprendizagem que permitam promover a alegria e o empenho ativo dos estudantes de engenharia eletrotécnica durante o seu próprio processo de aprendizagem.

6.2 Publicações e reconhecimentos

Das várias contribuições deste trabalho de investigação, salientam-se as principais indicando as publicações ou reconhecimentos a nível nacional e internacional a que deram origem:

- Construção de referencial das competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia (que devem ser promovidas na formação ética), incluindo o exemplo de como podem ser usadas no planeamento de uma unidade curricular específica de formação ética. Este trabalho deu origem a uma publicação na revista *London Review of Education*:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Decentring engineering education beyond the technical dimension: ethical skills framework. *London Review of Education*, 22 (1), 23. DOI: <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.23> - (Web of Science e Scopus)
- conceção, desenvolvimento e aplicação de instrumentos pedagógicos baseados em metodologias de aprendizagem ativa (nomeadamente aprendizagem baseada em jogos educativos), para promover a formação ética em engenharia. Estes instrumentos foram construídos com vista à sua adequação aos estudantes de engenharia eletrotécnica, mas podem ser adaptados para outras áreas da engenharia. Foram construídas 6 atividades pedagógicas diferentes: 3 centradas na formação ética e 3 centradas na interligação da ética com conteúdos técnico científicos da área da engenharia eletrotécnica. De partes destes trabalhos já resultaram 3 publicações em revistas científicas e um prémio:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 16 (4), 1029-1041. <https://doi.org/10.1108/JARHE-02-2023-0056> - (Scopus)
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). An educational board game to promote the engagement of electric engineering students in ethical building of a sustainable and fair future. *The Journal of Environmental Education*, 55, (2), 138-152, DOI: 10.1080/00958964.2023.2259832 - (Web of Science e Scopus)
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2024). CO₂ Emissions Resulting from Large-Scale Integration of Electric Vehicles Using a Macro Perspective. *Applied Sciences*, 14, (14), 6177. <https://doi.org/10.3390/app14146177> - (Web of Science e Scopus)
 - O artigo intitulado “Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering” que foi publicado no *Journal of Applied Research in Higher Education*, recebeu o primeiro prémio no âmbito do concurso “Prémios Novas Fronteiras da Engenharia - Edição 2024” promovido pela

Ordem dos Engenheiros da Região Centro na categoria “Docentes do Ensino Superior”

- a construção de um framework para facilitar o desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação de formação ética (e para a sustentabilidade) com conteúdos técnico-científicos. O framework desenvolvido faz parte de um artigo que foi submetido ao *European Journal of Engineering Education* e se encontra em processo de ajustes após primeira revisão por pares;
- outra importante contribuição foi a avaliação dos resultados do uso dos instrumentos pedagógicos desenvolvidos, após a sua aplicação em situações reais de formação ética de estudantes de engenharia (tanto em unidades curriculares específicas como em unidades curriculares técnico-científicas);
- para o desenvolvimento de algumas das atividades pedagógicas foi necessário proceder ao desenvolvimento de alguns tópicos técnicos, nomeadamente na área das instalações elétricas e da integração de veículos elétricos em larga escala na rede de energia elétrica. O estudo relativo aos veículos elétricos foi já publicado no artigo intitulado “CO₂ Emissions Resulting from Large-Scale Integration of Electric Vehicles Using a Macro Perspective” publicado na revista *Applied Sciences*.

Ao longo do processo de investigação escreveram-se 4 artigos científicos que foram publicados em revistas científicas (referidos no ponto anterior), 1 artigo que está em processo de ajuste após primeira revisão, e também foram escritos 5 artigos que foram apresentados em conferências internacionais:

- Com apresentação oral e publicação:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). The need to include ethics education in engineering courses: looking to the role of engineering. In 2023 5th International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE) (pp. 1-5). 5-7 julho. IEEE.CISPEE - International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education.
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). Presence of environmental sustainability education in electrical engineering curricular plans. The 3rd International Conference on: Climate Change & Environmental Sustainability (CCES), 17-18 set. 2023
 - Monteiro, F., and Sousa, A. (2022). Evolution of the presence of ethical education in electrical engineering programs in Portugal. In INTED2022 Proceedings (pp. 5499-5505). IATED.
 - Monteiro, F., and Sousa, A. (2022). Ethical Competences that are Necessary for the Engineering Professional Practice Acknowledged in Professional Deontological Code. In INTED2022 Proceedings (pp. 8490-8495). IATED.

- Com apresentação por poster:
 - Monteiro, F. and Sousa, A. (2023). Use of serious games applied to the electrical engineering teaching. SERIOUS 2023 - International Congress in Serious Games & Emotional Competence in Higher Education. 16-17 out.

Durante o processo do trabalho de investigação também foram proferidos 2 workshops e 3 palestras:

- Workshop: SPEE - Ethics in Engineering Education integrado na 5th International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE) e intitulado “Implementação prática da formação ética dos estudantes de engenharia”. Formadora: Fátima Monteiro.
- Workshop: “Planear e criar jogos educativos - introdução”, cujo público alvo foram docentes do ensino superior da área da engenharia. O workshop decorreu no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), em 24 de julho de 2023, das 14h30 às 17h. Formadora: Fátima Monteiro.
- Oradora Convidada (em conjunto com Armando Sousa) de Palestra “Engenharia e ética”, Universidade de Aveiro, em 3-12-2024
- Oradora Convidada de Palestra “Engineering Professional Ethics”, FEUP, 18-10-2023
- Oradora convidada de Palestra “Ética e Engenharia?”, FEUP, em 28 -11-2019

6.3 Considerações finais, limitações e desenvolvimento futuro

Apesar dos resultados da aplicação das ferramentas pedagógicas desenvolvidas neste trabalho serem muito positivos e promissores, reconhece-se o facto das ferramentas pedagógicas terem sido aplicadas em amostras de conveniência (na maioria dos casos, a estudantes do ISEC, dos cursos de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores ou de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica; e numa situação a estudantes da FEUP da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores); e do número de estudantes que participaram ser relativamente pequeno (no máximo foi de 65 para o jogo “Ethical Betrayal” e no mínimo de 9 para o jogo “Market Collpase”). Por este motivo, os resultados podem não ser generalizáveis, apesar de serem muito positivos.

O trabalho de investigação desenvolvido foi direcionado à área e aos estudantes de engenharia eletrotécnica, mas o referencial das competências éticas, o framework para desenvolvimento de atividades pedagógicas de interligação de conteúdos técnico-científicos com a formação ética e as orientações para o desenvolvimento de jogos educativos aplicam-se possivelmente a todas as áreas da engenharia. Apesar das atividades pedagógicas terem sido planeadas e aplicadas a estudantes de engenharia eletrotécnica, estas podem servir de base

ao desenvolvimento de atividades para outras áreas da engenharia se os exemplos e temas abordados forem adaptados à área pretendida.

O desenrolar do trabalho de investigação conduziu a novas e importantes questões que se pretendem investigar num futuro próximo, incluindo interações a nível internacional com o grupo de ética na engenharia (SIG on Engineering Ethics Education) do SEFI (European Society for Engineering Education), e a nível nacional com a o Grupo de Trabalho Ética na Educação em Engenharia da SPEE (Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia).

Uma das propostas de investigação futura centra-se na necessidade de desenvolver uma articulação mais clara, abrangente e frutífera entre a sustentabilidade, a ética e alguns domínios da engenharia eletrotécnica. Outro aspeto a investigar, é a promoção de estratégias de ensino/aprendizagem que permitam incorporar a sustentabilidade nos cursos de engenharia eletrotécnica de forma sólida, e procurando a sua interligação com outras áreas do saber, por exemplo a termodinâmica, que poderá ajudar os estudantes a compreenderem o conceito de energia de forma mais abrangente. Outra dimensão de investigação, que poderá ser conciliada com as já referidas, é o estudo de metodologias pedagógicas que permitam fomentar nos estudantes de engenharia eletrotécnica a alegria, o gosto pela área e o empenho no seu próprio processo de aprendizagem; com vista à promoção do seu empenho eticamente responsável na sua futura prática profissional. Tendo em conta a redução que atualmente se verifica dos candidatos aos cursos de engenharia eletrotécnica [183], a incorporação da sustentabilidade nestes cursos poderá ser um elemento atrativo para a área da eletrotecnia.

No final do presente trabalho salienta-se novamente que esta investigação pretende contribuir de forma relevante para a promoção da formação ética dos estudantes de engenharia (particularmente dos de engenharia eletrotécnica), o que certamente contribuirá para a promoção de melhores profissionais desta importante área do saber, esperando com isso contribuir para uma sociedade eticamente mais responsável.

Referências

- [1] K. Stephan, K. Michael, M. Michael, L. Jacob e E. Anesta, “Social implications of technology: the past, the presented, and the future,” *Proceedings of the IEEE*, vol.100, pp. 1752-1781, 2012.
- [2] A. Rego e J. Braga, *Ética para Engenheiros: desafiando a síndrome do vaivém Challenger*, Lidel, 2014.
- [3] A. Sousa, *O Homen.com medo de si próprio: ética versus tecnologia*, Estratégias Criativas, 2004.
- [4] H. Dürr, *Da ciência à ética: a física moderna e a responsabilidade do cientista*, Lisboa: Instituto Piaget, 1999.
- [5] O. d. Engenheiros, “Ordem dos Engenheiros,” 18 11 2024. [Online]. Available: <https://www.ordemdosengenheiros.pt/pt/> .
- [6] M. Bentes, M. Costa e J. Almeida, “A dimensão ética da engenharia e da tecnologia,” *Complexitas - Revista de Filosofia Temática*, 4(2), pp. 12-18, 2020.
- [7] B. Dubreuil, *Imaginário Técnico e Ética Social: ensaio sobre o ofício de engenheiro*, Lisboa: Instituto Piaget, 2007.
- [8] D. Franklin, *Megatech: as grandes inovações do futuro*, Lisboa: Clube do Autor, 2017.
- [9] J. Habermas, *A técnica e a ciência como "ideologia"*, Lisboa: Edições 70, 1994.
- [10] E. Douglas e J. Holbrook, “Engineering Ethics Education for Social Justice,” em *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2020.
- [11] U. Beck, *Sociedade de rico mundial: em busca da segurança perdida*, Lisboa: Edições 70, 2016.
- [12] H. Jonas, *El principio de responsabilidade: ensayo de una ética para la civilización tecnológica*, Barcelona: Herder Editoria, 2015.
- [13] G. Augusti, J. Birch e A. E. Payzin, “EUR-ACE: A System of Accreditation of Engineering Programmes,” *European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAE)*, 2018.
- [14] W. Barendregt, E. Nilsson, D. Yoo, R. Nørgård, T. Bekker, A. Veldhuis e E. Eriksson, “Teaching values in design in higher education towards a curriculum compass,” em *Proceedings of the ETHICOMP: Paradigm Shifts in ICT Ethics*, 2020.
- [15] S. Johnston, J. Gostelow e W. King, *Engineering & Society: challenges of professional practice*, Prentice Hall, 2000.
- [16] F. Monteiro, C. Leite e C. Rocha, “Análise da adequabilidade de diferentes metodologias didático-pedagógicas para a formação ética no ensino superior,” em *Atas do I Seminário Internacional CAFTe - Currículo, Avaliação, Formação e Tecnologias educativas*, Porto, 9 e 10 julho, 2018.
- [17] Ordem dos Engenheiros, “Código de Ética e Deontologia,” 2016. [Online]. Available: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regulamentos/codigo_ed.pdf.

- [18] Ordem dos Engenheiros Técnicos, “Código Deontológico,” 2016. [Online]. Available: <https://www.oet.pt/downloads/AudienciaInteressados/CodigoDeontologico.pdf>.
- [19] IEEE, “IEEE Code of Ethics,” 2020. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/about/corporate/ieee-code-of-ethics.pdf>.
- [20] J. Sacks, *A era do desenvolvimento sustentável*, Lisboa: Conjuntura Atual, 2017.
- [21] E. Morin, *Ciência e Consciência*, Publicações Europa-América, 1994.
- [22] G. Lipovetsky, *Os tempos hipermodernos*, Lisboa: Editora 70, 2013.
- [23] H. Carvalho, “Alasdair MacIntyre e o retorno às tradições morais de pesquisa racional,” em *Correntes fundamentais da ética contemporânea*, Petrópolis, Edições Vozes, 2000, pp. 31-64.
- [24] P. Díaz, T. Onorati e I. Aedo, “Using Active Learning and Critical Thinking to Identify and Apply Ethical Values in Engineering Education,” em *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2024.
- [25] T. Santos, *Revolução científica técnica e acumulação do capital*, Petrópolis: Edições Vozes, 1987.
- [26] Y. Harari, *Homo Deus: História breve do amanhã.*, Amadora: Elsinor, 2017.
- [27] J. Norberg, *Progresso: dez razões para ter esperança no futuro*, Lisboa: Círculo de Leitores, 2017.
- [28] A. Ross, *As indústrias do futuro*, Coimbra: Conjuntura Atual, 2016.
- [29] D. Wootton, *A invenção da Ciência: nova história da revolução científica*, Lisboa: Círculo de Leitores, 2017.
- [30] Comissão Europeia, “Uma agenda digital para a Europa,” 2014. [Online]. Available: file:///C:/Users/F%C3%A1tima/Downloads/digital_agenda_pt.pdf.
- [31] A. Weisman, *O mundo sem nós*, Cruz Quebrada: Estrela Polar, 2008.
- [32] N. Canney e A. Bielefeld, “A Framework for the Development of Social Responsibility in Engineers,” *International Journal of Engineering Education*, vol.31 N.1(B), pp. 414-424, 2015.
- [33] F. Monteiro, C. Leite e C. Rocha, “Ethical education as a pillar of the future role of higher education: analysing its presence in the curricula of engineering courses,” *Futures*, Vol. 111, pp. 168-180, 2019.
- [34] A. Giddens, *As Consequências da Modernidade*, Lisboa: Celta Editora, 1998.
- [35] National Academy of Engineering, *Infusing Ethics into the Development of Engineers: Exemplary Education Activities and Programs*, Washington, DC: The National Academies Press, 2016.
- [36] I. Domingues, “Ética, ciência e tecnologia,” *Kriterion*, 45 (109), pp. 158-174, 2004.
- [37] F. Monteiro, “A formação ética nos cursos de engenharia em Portugal: contributos para a repensar numa perspetiva do bem comum,” *Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto*, Tese de Doutoramento, 2018.
- [38] S. Arjoon, A. Turriago-Hoyos e U. Thoene, “Virtuousness and the Common Good as a Conceptual Framework for Harmonizing the Goals of the Individual, Organizations, and the Economy,” *Journal of Business Ethics* (2018) 147, p. 143-163, 2018.

- [39] R. Smith, *Engineering as a career*, McGraw-Hill, 1969.
- [40] M. Rodrigues, *Os engenheiros em Portugal: profissionalização e protagonismo*, Oeiras: Celta Editora, 1999.
- [41] F. Guerra, “História sumária da engenharia em Portugal até ao fim do século XIX,” em *História e desenvolvimento da ciência em Portugal - Vol II*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1986.
- [42] F. Monteiro, C. Leite e C. Rocha, “The influence of engineers’ training models on ethics and civic education component in engineering courses in Portugal,” *European Journal of Engineering Education*, 42:2, pp. 156-170, 2017.
- [43] C. Mitcham, *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*, Chicago: University Of Chicago Press, 1994.
- [44] G. Moriarty, *The engineering project: its nature, ethics, and promise*, Pennsylvania: The Pennsylvania University Press, 2008.
- [45] S. Johnston, A. Lee e H. McGregor, “Engineering as a captive discourse,” *Techné: Research in Philosophy and Technology* 1(3/4), pp. 128-136, 1996.
- [46] G. Santos, *Engenharia PT - Uma via verde para o desenvolvimento tecnológico e económico de Portugal*, Edições VidaEconómica, 2015.
- [47] C. Harris, M. Pritchard, R. James, E. Englehardt e M. Rabins, *Engineering ethics: concepts and cases*, CENGAGE, 2019.
- [48] J. Wilson, *Engineering Ethics*, Learn Electronics, 2020.
- [49] P. C. Ferrão, *Ecologia Industrial: Princípios e ferramentas*, Lisboa: IST Press, 2009.
- [50] D. Noble, *America by design: science, technology, and the rise of corporate capitalism*, Knopf, 1977.
- [51] N. Postman, *Technopoly: The Surrender of Culture to Technology*, Vintage, 1992.
- [52] A. Van Gorp e I. Van de Poel, “Deciding on Ethical Issues in Engineering Design,” *Philosophy and Design*, pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6591-0_6, 2008.
- [53] J. Santos, *Introdução à ética*, Lisboa: Edições Documenta, 2012.
- [54] Y. Taille, *Moral e ética: dimensões intelectuais e afetivas*, São Paulo: Artemed Editora, 2006.
- [55] D. Goswami e A. Chakraborty, “Sensitizing engineers: A brief study of the role of ethics in engineering education,” em *5th Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE 2015)*, 2015.
- [56] C. d. É. P. d. FURG, “Moral e Ética,” 2024. [Online]. Available: <https://eticapublica.furg.br/moral-e-etica?id=26> .
- [57] D. Jonhson, *Engineering Ethics: Contemporary and Enduring Debates*, Yale University Press, 2020.
- [58] A. Van Gorp e I. Van de Poel, “Ethical Considerations in Engineering Design Processes,” *IEEE Technology and Society Magazine*, 2001.

- [59] T. Winkler, "Value sensitive design and agile development: potential methods for value prioritization," em *Proceedings of the ETHICOMP: Paradigm Shifts in ICT Ethics*, 2020.
- [60] I. Van de Poel e P. Verbeek, "Ethics and Engineering Design," *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 31 N. 3, pp. 223-236, 2006.
- [61] R. Chiles, *Inviting disaster: lessons from the edge of technology*, New York: Harper Business, 2001.
- [62] D. Vaughan, *The Challenger launch decision: risk technology, culture, and deviance at NASA*, Chicago: University of Chicago Press, 1996.
- [63] P. Werhane, *Moral imagination and management decision making* Oxford University Press, Oxford : Oxford University Press, 1999.
- [64] B. Friedman, D. Henry, S. Umbello, J. Hoven e D. Yoo, "The future os value sensitive design," em *Proceedings of the ETHICOMP: Paradigm Shifts in ICT Ethics*, 2020.
- [65] D. Hendry, E. Eriksson, A. Fernando, I. Shklovski, D. Cawthorne e D. Yoo, "Value sensitive design education: state of the art and prospects for the future," em *Proceedings of the ETHICOMP: Paradigm Shifts in ICT Ethics*, 2020.
- [66] H. Nissenbaum, "Values in technical design," em *Encyclopedia of science, technology, and ethics*, New York, Macmillian, 2005, pp. 66-70.
- [67] J. Belman, M. Flanagan e H. Nissenbaum, "Instructional methods and curricula for values conscious design," *Loading: The Official Journal of the Canadian Games Studies Association*, vol.3 N.4, 2009.
- [68] O. Inersen, K. Halskov e T. Leong, "Values-led participatory design," *CoDesign: International Journal of CoCreation in Design and the Arts*, Vol.8(2-3), pp. 87-103, 2012.
- [69] G. Cockton, "Designing worth is worth designing," em *Conference proceedings of the 4th Nordic Conference on Human-computer Interaction: changing roles*, Oslo, Norway, 2006.
- [70] B. Friedman e D. Hendry, "The envisioning cards: a toolkit for catalysing humanistic and technical imagination," em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012.
- [71] J. Gispén, "Ethics for designers," 2017. [Online]. Available: <https://www.ethicsfordesigners.com>.
- [72] S. Dorrestein, "Product impact tool," [Online]. Available: <https://www.productimpacttool.org/nl/portal/>.
- [73] B. Dikici, "Implementing next-generation engineering ethics in education and industry for social happiness: A macroscopic overview from Turkey to the world," *Is Ahlakı Dergisi*, 14(2), pp. 364-380, 2021.
- [74] Scopus, "www.scopus.com," 2024. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=8b4c3cc19c66ec932b24177d5669bbe2&sot=a&sdt=a&sl=22&s=%28ethics+OR+deontology%29&origin=resultslst&count=0&analyzeResults=Analyze+results>.

- [75] C. Finelli, M. Holsapple, R. Eunjong, R. Bielby, B. Burt, D. Carpenter e J. Sutkus, "An assessment of engineering students' curricular and co-curricular experiences and their ethical development," *Journal of Engineering Education*, vol. 101(3), pp. 469-494, 2012.
- [76] O. d. Engenheiros, "Ética e Deontologia," [Online]. Available: https://www.ordemdosengenheiros.pt/fotos/editor2/regulamentos/codigo_ed.pdf.
- [77] C. Carapeto e F. Fonseca, "Ética e Deontologia - Manual de Formação," 2012. [Online]. Available: https://wiki.dcet.uab.pt/files/images/7/7f/Etica_Deontologia-Manual_Formacao.pdf.
- [78] J. Herkert, "ABET's Engineering Criteria 2000 and Engineering Ethics: Where Do We Go From Here? OEC International," em *OEC International Conference on Ethics in Engineering and Science*, 1999.
- [79] A. Oliveira, *Ética na investigação científica: guia de boas práticas com estudo de casos*, Lidel, 2013.
- [80] M. Neves e M. Carvalho, *Ética Aplicada - Investigação Científica: Ética Aplicada Vol.XII*, Edições 70, 2018.
- [81] F. Monteiro, C. Leite e C. Rocha, "Ethics and Civic Education in the Curriculum of Portuguese Power Engineering courses," em *Proceedings of 51st International Universities Power Engineering Conference*, Coimbra, 2016.
- [82] F. Monteiro, C. Leite e C. Rocha, "The engineering social role conception promoted in the engineering courses' advertising: looking from the point of view of women," em *EDUCON2021 - IEEE Global Engineering Education Conference: Women in Engineering*, Viena - Austria, 2021.
- [83] I. P. d. B. IPB, "Engenharia Eletrotécnica e de Computadores," 2022. [Online]. Available: https://portal3.ipb.pt/index.php/pt/guiaects/cursos/licenciaturas/curso?cod_escola=3043&cod_curso=9112.
- [84] I. S. d. E. d. C. ISEC, "Aplicacionais para a Engenharia," 2022. [Online]. Available: <https://www.ipc.pt/ipc/unidade-curricular/aplicacionais-para-a-engenharia/>.
- [85] U. d. C. UC, "Unidade Curricular / Competências Transversais para a Engenharia," 2022. [Online]. Available: https://apps.uc.pt/courses/PT/unit/86662/19325/2018-2019?common_core=true&typ%20e=ram&id=359.
- [86] U. N. d. L. UNL, "Competências Transversais para Ciências e Tecnologia," 2022. [Online]. Available: <https://guia.unl.pt/pt/2020/fct/program/853/course/10352#subject>.
- [87] U. N. d. L. UNL, "Ciência, Tecnologia e Sociedade," 2022. [Online]. Available: <https://guia.unl.pt/pt/2020/fct/program/853/course/10358>.
- [88] I. P. d. C. B. IPCB, "Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Telecomunicações," 2022. [Online]. Available: <https://ipcb.pt/estcb/ensino/licenciatura-em-engenharia-electrotecnica-e-das-telecomunicacoes>.
- [89] I. S. d. E. d. C. ISEC, "Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica," 2022. [Online]. Available: <https://www.isec.pt/PT/ESTUDAR/Licenciaturas/EngElectrotecnica/#lnk PerfilCompetencias>.

- [90] I. P. d. L. IPL, “Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,” 2022. [Online]. Available: <https://www.ipleiria.pt/curso/licenciatura-em-engenharia-elektrotecnica-e-de-computadores/>.
- [91] U. d. B. I. UBI, “Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,” 2022. [Online]. Available: <https://www.ubi.pt/Curso/27>.
- [92] U. d. C. UC, “Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,” 2022. [Online]. Available: <https://apps.uc.pt/courses/PT/course/359>.
- [93] A. Katz, K. Reid, D. Riley e N. Van Tyne, “Overcoming Challenges to Enhance a First Year Engineering Ethics Curriculum,” *Advances in Engineering Education*, 2020.
- [94] M. Grohman, N. Gans, E. Lee, M. Tacca e M. Brown, “Engineering Ethics as an Expert-Guided and Socially-Situated Activity,” *Advances in Engineering Education*, vol.8, issue 2, 2020.
- [95] S. Durst, A. Pevkur e V. Parts, “Ethical Attitudes Among Engineering Students: Some Preliminary Insights,” *Educating Engineers for Future Industrial Revolutions*, n.1329, p. 780-788, 2021.
- [96] J. Li e S. Fu, “A Systematic Approach to Engineering Ethics Education,” *Sci Eng Ethics*, vol 18, p. 339-349, 2012.
- [97] J. Walther, S. Miller e N. Sochacka, “A Model of Empathy in Engineering as a Core Skill, Practice Orientation, and Professional Way of Being,” *Journal of Engineering Education*, vol.106, Issue1, 2017.
- [98] T. Lennerfors, M. Laaksoharju, M. Davis, P. Birch e P. Fors, “A Pragmatic Approach for Teaching Ethics to Engineers and Computer Scientists,” em *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2020.
- [99] T. Ehrlich, Civic responsibility and higher education, American Council on Education e Oryx Press, 2000.
- [100] D. Riley e Y. Lambrinidou, “Canons against cannons? Social justice and the engineering ethics imaginary,” em *ASEE Annual Conference*, 2015.
- [101] O. Pierrakos, M. Prentice, C. Silverplate, M. Lamb, A. Demaske e R. Smout, “Reimagining Engineering Ethics: From Ethics Education to Character Education,” em *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2019.
- [102] A. Matos e M. Diogo, “A afirmação da engenharia em Portugal ao longo do século XIX,” em *Engenho e Obra*, Publicações D. Quixote, 2002, pp. 25-29.
- [103] W. Bauschpries, J. Holbrook, E. Douglas, Y. Lambrinidou e E. Lewis, “Reimagining Ethics Education for Peace Engineering,” em *World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)*, 2018.
- [104] W. Robison, *Ethics Within Engineering: An Introduction*, Bloomsbury Academic, 2016.
- [105] R. Dreher, V. Kondratyev e M. Kuznetsova, “Social-Ecologic Oriented Curricula in Engineering Education: “Leonardo’s Oath” as an Answer to Janus-Headedness in Engineering Work,” *Higher Education in Russia*. Vol. 30, no. 1, pp. 115-124, 2021.

- [106] L. Oliveira e J. Afonso, “A ética como objeto de ensino,” em *Fraude e Plágio na Universidade*, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016, pp. 145-152.
- [107] J. Ferreira, *O Que Nos Leva a Ser Morais? A Psicologia da Motivação Moral*, Climepsi Editores, 2013.
- [108] A. Soeiro e A. Oliveira, “Teaching ethics to engineering students: case studies,” em *4th International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE 2021): Shaping Engineering Education for the 21st Century*, 2021.
- [109] F. Almeida, A. Seixas, P. Gama e P. Peixoto, *A fraude académica no ensino superior em Portugal: um estudo sobre a ética dos alunos portugueses*, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015.
- [110] D. d. Coimbra, “Um terço dos universitários falta às aulas devido à ressaca,” *Diário de Coimbra*, 1 maio 2003.
- [111] N. Morais, “Percepções do Ensino pelos Alunos: Proposta de Instrumento de Avaliação para o Ensino Superior,” Dissertação Mestrado. Universidade do Minho, 2005.
- [112] D. Golberg e M. Somerville, *A whole new engineer: the coming revolution in engineering education*, ThreeJoy Associates, Inc. , 2019.
- [113] J. Lönngren, “Exploring the discursive construction of ethics in an introductory engineering course,” *Journal of Engineering Education*, vol. 110, Issue 1, pp. 44-69, 2021.
- [114] L. Lhotska, “Ethics in Engineering Education,” em *2022 31st Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEIE)*, 2022.
- [115] D. A. Martin, E. Conlon e B. Bowe, “A Multi-level Review of Engineering Ethics Education: Towards a Socio-technical Orientation of Engineering Education for Ethics,” *Science and Engineering Ethics*, pp. 27-60, 2021.
- [116] J. Ehnberg, S. T. Lundmark e S. Lundberg, “Introducing Ethics by IEEE Code of Ethics in International Electrical Power Engineering Education,” em *2022 31st Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEIE)*, 2022.
- [117] G. Bombaerts, D. Martin e K. Doulougeri, “Structured and open Challenge-Based Learning in Engineering Ethics Education,” em *2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2022.
- [118] S. Maalouf, “Reverse hierarchal learning approaches in engineering education: Inferences and ethical considerations,” em *2019 International Annual Conference Proceedings of the American Society for Engineering Management and 40th Meeting Celebration*, 2019.
- [119] R. Kirkman, “Problem-based learning in engineering ethics courses,” *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 11(1), 2017.
- [120] M. Park e D. Passmore, “Elucidating engineering ethics education during the COVID-19 pandemic era,” *International Journal of Multidisciplinary Perspectives in Higher Education*, 5(2), pp. 116-122, 2020.
- [121] J. B. van Grunsven, L. Marin, T. W. Stone, S. Roeser e N. Doorn, “How to Teach Engineering Ethics?: A Retrospective and Prospective Sketch of TU Delft’s Approach to Engineering Ethics Education,” *Advances in Engineering Education* 9 (4), 2021.

- [122] M. Wisnioski, "What's the Use? History and Engineering Education Research," *Journal of Engineering Education*, 104 (3), p. 244-251, 2015.
- [123] F. Monteiro e A. Sousa, "Evolution of the presence of ethical education in electrical engineering programs in Portugal," em *INTED2022 Proceedings*, 2022.
- [124] K. Raworth, *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Random House, 2017.
- [125] G. Gay, *Culturally responsive teaching: Theory, research, and practice*, New York: Teachers College Press, 2000.
- [126] E. Fromm, "The changing engineering educational paradigm," *Journal of Engineering Education*, 92(2), pp. 113-121, 2003.
- [127] A. Jamison, A. Kolmos e J. Holgaard, "Hybrid Learning: An Integrative Approach to Engineering Education," *Journal of Engineering Education*, 103(2), p. 53-273, 2014.
- [128] M. Kranzberg, "Technology and History: "Kranzberg's Laws," *Technology and Culture*, 27 (3), pp. 544-560, 1986.
- [129] A. Villegas e T. Lucas, *Educating culturally responsive teachers: A coherent approach*, Albany: SUNY Press., 2002.
- [130] C. M. A. & S. M. Hernandez, "The development of a model of culturally responsive science and mathematics teaching," *Cultural Studies of Science Education* 8, p. 803-820, 2013.
- [131] A. Kamp, *Engineering education in the rapidly changing world: Rethinking the vision for higher engineering education.*, 2016.
- [132] F. G. Splitt, "The challenge to change: On realizing the new paradigm for engineering education," *Journal of Engineering Education*, 92(2), pp. 181-187, 2003.
- [133] M. Nussbaum, *Not for profit: why democracy needs the humanities*. Princeton, Princeton, N.J. : Princeton University Press, 2010.
- [134] E. Conlon, "Broadening engineering education: bringing the community in: commentary on "social responsibility in French engineering education: a historical and sociological analysis"," *Science & Engineering Ethics*, 19(4), pp. 1589-1594, 2013.
- [135] M. Bruning, J. Bystydzienski e M. Eisenhart, "Intersectionality as a Framework for Understanding Diverse Young Women's Commitment to Engineering," *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, pp. 1-26, 2015.
- [136] S. Silbey, "Why Do So Many Women Who Study Engineering Leave the Field?," *Harvard Business Review Digital Articles*, pp. 2-6, 2016.
- [137] C. Felber, *Change everything. Creating an Economy for the Common Good*, Zed Books, 2019.
- [138] T. Hansen, Hansen, T. (ed.). (2002). *The Role of Philosophy of Science and Ethics in University Science Education*, Göteborg: NSU Press, 2002, pp. 23-44.

- [139] S. Ings, *Stalin and the Scientists: A History of Triumph and Tragedy, 1905-1953*, Atlantic Monthly Press, 2017.
- [140] G. Leonhard, *Technology vs. Humanity: The coming clash between man and machine*, Fast Future Publishing, 2016.
- [141] C. Rasoal, H. Danielsson e T. Jungert, "Empathy among students in engineering programmes," *European Journal of Engineering Education*, 37(5), pp. 427-435, 2012.
- [142] M. Miyashiro, *The Empathy Factor: Your Competitive Advantage for Personal, Team, and Business Success*, PuddleDancer Press, 2011.
- [143] J. Piaget, *The moral judgment of the child*, London: Kegan, Paul, Trench, Trubner & Co., 1932.
- [144] V. Lima, "From Piaget to Gilligan: moral development retrospective in Psychology: A way to the virtues'study," *Psicologia Ciência e Profissão*, 24 (3), pp. 12-23, 2004.
- [145] L. Kohlberg, "Moral Stages and Moralization: The Cognitive-Developmental Approach," em *Moral Development and Behavior: Theory, Research and Social Issues*, New York, Rinehart and Winston, 1976, pp. 31-53.
- [146] J. Rovira, *Prácticas Morales - Una Aproximación Moral*. [Moral Practices - A Moral Approach], Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, 2003.
- [147] M. Davis e A. Feinerman, "Assessing graduate student progress in engineering ethics," *Science & Engineering Ethics*, 18(2), pp. 351-367, 2012.
- [148] L. e. a. Anderson, *A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, Nova York: Addison Wesley Longman, 2001.
- [149] O. d. E. OE, "Acreditação EUR-ACE," [Online]. Available: <https://www.ordemdosengenheiros.pt/pt/servicos/acreditacao-eur-ace/>.
- [150] IEEE, "The professional home for the engineering and technology community worldwide," 2023. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>.
- [151] M. M. Moreira, A. L. D. M. M. Torres, C. R. Joye, A. C. U. Araújo e H. B. Neto, "Convergência entre a Metodologia de Ensino Sequência Fedathi com os Objetivos Educacionais do Domínio Cognitivo da Taxonomia de Bloom," *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, 16(5), pp. 2569-2585, 2023.
- [152] F. Monteiro e A. Sousa, "Decentring engineering education beyond the technical dimension: ethical skills framework," *London Review of Education*, 22 (1), 23, 2024.
- [153] F. Monteiro, "Ethical skills needed by engineers to face future's challenges.," em *4th International Conference of the Portuguese Society of Engineering Education*, Lisboa, 2021a.
- [154] F. Monteiro, "Competências éticas necessárias ao exercício profissional da engenharia do ponto de vista da Ordem dos Engenheiros," em *7º Congresso de Práticas Pedagógicas no Ensino Superior - CNaPPES.21*, Aveiro, 2021.

- [155] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill e D. R. Krathwohl, Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Vol. Handbook I: Cognitive domain, New York: David McKay Company, 1956.
- [156] W. C. Son, "Philosophy of technology and macro-ethics in engineering," *Science and Engineering Ethics*, 14, pp. 405-415, 2008.
- [157] J. R. Herkert, "Future directions in engineering ethics research: Microethics, macroethics and the role of professional societies," *Science and Engineering Ethics* 7,(3), pp. 403-414, 2001.
- [158] J. Hamad, M. Hasanain, M. Abdulwahed e R. Al-Ammari, "Ethics in engineering education: A literature review," em *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Oklahoma City, 2013.
- [159] F. Monteiro, "The students' perspective contribution: rethink the ethical education of engineering students," *International Journal of Engineering Pedagogy*, 7(2), pp. 22-35 , 2017.
- [160] M. Rieckmann, "Future-oriented higher education: Which key competencies should be fostered through university teaching and learning?," *Futures*, 44(2), p. 127-135, 2012.
- [161] F. Monteiro e A. Sousa, "Pedagogical innovation to captivate students to ethics education in engineering," *Journal of Applied Research in Higher Education*, , Vols. %1 de %2Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print, 2023.
- [162] F. Monteiro e A. Sousa, "An educational board game to promote the engagement of electric engineering students in ethical building of a sustainable and fair future," *The Journal of Environmental Education*, vol. 55(2), p. 138-152, 2024.
- [163] A. Jarvinen, Games without Frontiers: Methods for Game Studies and Design, VDM Verlag Dr. Muller, 2009.
- [164] K. M. Kapp, The Gamification of Learning and Instruction: Game-based methods and strategies for training and education, Pfeiffer - Wiley, 2012.
- [165] J. Béchar, "Apprendre à enseigner au supérieur: L'exemple des innovateurs pédagogiques," *Cahier de recherche OIPG*, Vol. 1, pp. 1-14, 2000.
- [166] J. Major, S. Tait-McCutcheon, R. Averill, A. K. B. Gilbert, A. Mortlock e L. Jones, "Pedagogical innovation in higher education: defining what we mean," *International Journal of innovative Teaching and Learning in Higher Education*, Vol. 1 N.3, 2020.
- [167] A. Walder, "Pedagogical innovation in Canadian higher education: professors' perspectives on its effects on teaching and learning," *Studies in Educational Evaluation*, Vol. 54, pp. 71-82, 2017.
- [168] A. M. Walder, "Anne Mai Walder. The Concept of Pedagogical Innovation in Higher Education," *Education Journal*. Vol. 3, No. 3, doi: 10.11648/j.edu.20140303.22, pp. 195-202, 2014.
- [169] D. Peraya, "Comprendre et analyser les processus d'innovation à l'université," *Distances et savoirs*, 7, pp. 513-516, 2009.
- [170] C. Guerra e N. Costa, "Can Pedagogical Innovations Be Sustainable? One Evaluation Outlook for Research Developed in Portuguese Higher Education," *Education Sciences*, v11, 2021.

- [171] R. Smith, B. Butler e W. LeBold, *Engineering as a career*, McGraw-Hill, 1983.
- [172] N. O. Oermann e A. Weinert, "Sustainability ethics," em *Sustainability Science: An Introduction*, Springer, 2016, pp. 175-192.
- [173] C. Becker, *Sustainability ethics and sustainability research*, Springer Science & Business Media, 2011.
- [174] J. Henriques, "Alunos sob pressão: "no Técnico há uma glorificação do sofrimento"," *Público*, pp. <https://www.publico.pt/2022/05/13/sociedade/reportagem/alunos-pressao-tecnico-ha-glorificacao-sofrimento-2006148>, 13 05 2022.
- [175] B. Costa, J. Abreu e V. Filipe, "Estudar no Técnico?! Só se fores maluco! Diferencial - o jornal dos estudantes do IST," 2022. [Online]. Available: <https://diferencial.tecnico.ulisboa.pt/tecnico/estudar-no-tecnico-so-se-fores-maluco/> .
- [176] S. Silva, " Engenheiros demoram mais tempo a acabar o curso," *Público*, p. online, 4 04 2018.
- [177] M. Santos, *Saúde mental e comportamentos de risco em estudantes universitários*, PhD tesis, Universiadde de Aveiro, <http://hdl.handle.net/10773/6738>, 2011.
- [178] S. Leka, A. Jain, M. Widerszal-Bazyl, D. Żołnierczyk-Zreda e G. Zwetsloot, "Developing a standard for psychosocial risk management: PAS 1010," *Safety Science*, 49(7), pp. 1047-1057, 2011.
- [179] C. Kokou-Kpolou, A. Jumageldinov e S. Park, "Prevalence of Depressive Symptoms and Associated Psychosocial Risk Factors among French University Students: the Moderating and Mediating Effects of Resilience," *Psychiatr Q* 92, p. 443-457, 2021.
- [180] D. Zhao, C. H. Muntean, A. E. Chis, G. Rozinaj e G. Muntean, "Game-Based Learning: Enhancing Student Experience, Knowledge Gain, and Usability in Higher Education Programming Courses," *IEEE Transactions on Education*, vol. 65, no. 4, pp. 502-513, 2022.
- [181] Z. H. Sart, B. Börkan, F. Erkman e S. Serbest, "Resilience as a mediator between parental acceptance-rejection and depressive symptoms among university students in Turkey," *Journal of Counseling & Development*, 94(2), pp. 195-209, 2016.
- [182] M. Teshome Hambisa, A. Derese e T. Abdeta, "Depressive Symptoms among Haramaya University Students in Ethiopia: A Cross-Sectional Study," *Depression research and treatment*, p. 5027918, 2020.
- [183] F. Monteiro e F. Coutinho, "Evolution of Student Demand for Electrical Engineering Studies in Portugal," em *31st Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE)*, 2022.
- [184] G. Potvin, C. McGough, L. Benson, H. J. Boone, J. Doyle, A. Godwin e D. Verdín, "Gendered interests in electrical, computer, and biomedical engineering: Intersections with career outcome expectations," *IEEE Transactions on Education*, 61(4), 2018.
- [185] A. B. f. E. a. T. ABET, *Viewpoints - Issues of Accreditation in Higher Education*, ABET Edition, 2000.
- [186] N. Bekir, V. Cable, I. Hashimoto e S. Katz, "Teaching engineering ethics: a new approach," em *31st Annual frontiers in education conference. Impact on engineering and science education. Conference proceedings*, 2001.

- [187] D. Martin, E. Conlon e B. Bowe, "Using case studies in engineering ethics education: the case for immersive scenarios through stakeholder engagement and real life data," *Australasian Journal of Engineering Education*, 26:1, pp. 47-63, 2021.
- [188] M. F. Young, L. Bassett, D. D. Burkey, S. Streiner e J. B. Reed, "Let's play! gamifying engineering ethics education through the development of competitive and collaborative activities," em *ASEE annual conference*, 2021.
- [189] G. Bombaerts, K. Doulougeri, S. Tsui e e. al., "Engineering Students as Co-creators in an Ethics of Technology Course," *Sci Eng Ethics* 27, 48, 2021.
- [190] A. Arestova e A. Rusina, "Games as Teaching Methods in Power Engineering Education," em *2020 Ural Smart Energy Conference (USEC)*, Ekaterinburg, Russia, 2020.
- [191] P. Lloyd e I. van de Poel, "Designing Games to Teach Ethics," *Sci Eng Ethics* 14, p. 433-447, 2008.
- [192] W. Carpenter, "Teaching engineering ethics with the engineering ethics challenge game," em *Annual Conference*, 2005.
- [193] L. L. Bucciarelli, *Delta Design Game*, MIT , 1991.
- [194] S. W. Lau, T. P. L. Tan e S. M. Goh, "Teaching engineering ethics using BLOCKS game," *Science and engineering ethics*, 19, pp. 1357-1373, 2013.
- [195] M. Xenos e V. Velli, "A serious game for introducing software engineering ethics to university students," em *The Challenges of the Digital Transformation in Education: Proceedings of the 21st International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2018)-Volume 1*, 2018.
- [196] J. B. Reed, INVESTIGATING GAME-BASED INSTRUCTION AS A TOOL FOR ENGINEERING ETHICS EDUCATION IN A FIRST-YEAR ENGINEERING PROGRAM, Master Thesis at Rowan University, 2022.
- [197] M. Al Zahrani e M. Fawzy, "Engineering Education Gaming: Case Study of Engineering Ethics Game Modeling," em *2020 Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC)*, Makkah, Saudi Arabia, 2020.
- [198] A. L. Nel e J. Carroll, "Ethics assessment via game play?," em *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Athens, Greece, 2017.
- [199] L. Gatti, M. Ulrich e P. Seele, "Education for sustainable development through business simulation games: an exploratory study of sustainability gamification and its effects on students' learning outcomes," *Journal of Cleaner Production*, 207, 2019.
- [200] E. Marasco, W. Gatti Jr, B. Kim, L. Behjat e M. Eggermont, "Curious Conversations: Using Game-Based Learning to Develop Creative Culture within Technical Courses," *Papers on Postsecondary Learning and Teaching*, 2, pp. 57-63, 2017.
- [201] S. Barab, M. Thomas, T. Dodge, R. Carteaux e H. Tuzun, "Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns," *Educational technology research and development*, 53(1), pp. 86-107, 2005.
- [202] M. Bers, "Identity construction environments: Developing personal and moral values through the design of a virtual city," *The Journal of the Learning Sciences* 10(4), p. 365-415, 2001.

- [203] V. Adams, S. Burger, K. Crawford e R. Setter, "Can You Escape? Creating an Escape Room to Facilitate Active Learning," *Journal for Nurses in Professional Development*, 34 (2), pp. E1-E5, 2018.
- [204] S. Bowyer, "Learn, Play, Design: Using the Escape Room Concept to Teach Creativity and Innovation in a Business Course," *Business Education Innovation Journal*. Vol. 13 Issue 1, pp. 59-67, 2021.
- [205] H. e. a. Geraedts, "A framework to enhance students' soft skills within the context of international engineering project collaboration," em *31st Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE)*, Coimbra, Portugal, 2022.
- [206] A. Veldkamp, J. Daemen, S. Teekens, S. Koelewijn, M. Knippels e W. Joolingen, "Escape boxes: Bringing escape room experience into the classroom," *British Journal of Educational Technology*, 51, (4), 1220-1239, pp. 1220-1239, 2020.
- [207] H. Eukel e B. Morrell, "Ensuring Educational Escape-Room Success: The Process of Designing, Piloting, Evaluating, Redesigning, and Re-Evaluating Educational Escape Rooms," *Simulation & Gaming*, 52(1), p. 18-23, 2021.
- [208] S. Bowman, J. Salter, C. Stephenson e D. Humble, "Metamodern sensibilities: toward a pedagogical framework for a wicked world," *Teaching in Higher Education*, 29(5), pp. 1361-1380, 2024.
- [209] L. Connelly e R. Joseph-Salisbury, "Teaching Grenfell: The Role of Emotions in Teaching and Learning for Social Change," *Sociology* 53 (6), p. 1026-1042, 2019.
- [210] J. Garrett, *Learning to be in the World with Others: Difficult Knowledge and Social Studies Education*, Peter Lang, 2017.
- [211] K. Gravett, C. A. Taylor e N. Fairchild, "Pedagogies of mattering: Re-conceptualising relational pedagogies in higher education," *Teaching in Higher Education*, 29(2), pp. 388-403, 2024.
- [212] C. Christensen, *Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns*, McGraw-Hill, 2008.
- [213] B. Altvater, *Anthropocene or Capitalocene?: Nature, History, and the Crisis of Capitalism*, Kelman Library, 2016.
- [214] P. Aghion, C. Antonin e S. Bunel, *O poder da destruição criadora [The power of creative destruction]*, Círculo de Leitores, 2021.
- [215] UN, "17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda for Sustainable Development," <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>, 2015.
- [216] P. Naess, "Unsustainable Growth, Unsustainable Capitalism," *Journal of Critical Realism*, 5:2, pp. 197-227, 2006.
- [217] M. Milkoreit, "Imaginary politics: Climate change and making the future," *Elementa Science of the Anthropocene*, vol. 5 , p. 62, 2017.
- [218] M. Barth, J. Godemann, M. Rieckmann e U. Stoltenberg, "Developing key competencies for sustainable development in higher education," *International Journal of Sustainability in Higher Education* 8 (4), p. 416-430, 2007.

- [219] J. Hussain, A. Khan e K. Zhou, "The impact of natural resource depletion on energy use and CO₂ emission in Belt & Road Initiative countries: A cross-country analysis," *Energy*, Vol. 199, 2020.
- [220] T. Hume, "Higher education in turbulent times: navigating the transition from un-sustainability in a world dominated by technology," *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2021-0274>, 2022.
- [221] F. Chemat, M. A. Vian e G. Cravotto, "Green Extraction of Natural Products: Concept and Principles," *International Journal of Molecular Sciences* 13, no. 7, pp. 8615-8627, 2012.
- [222] K. Nikoloski, "Technology and economic development: retrospective," *Journal of Process Management and New Technologies*, Vol. 4, No.4, 2016, 2016.
- [223] W. B. Arthur, *The nature of technology: What it is and how it evolves*, Free Press, 2009.
- [224] A. Hampshire, *Creating Value Through Technology: Discover the Tech That Can Transform Your Business*, Bloomsbury Business Publishing, 2020.
- [225] B. Green, *The smart enough city: putting technology in its place to reclaim our urban future*, MIT Press, 2020.
- [226] M. R. Smith e L. Marx, *Does Technology Drive History?: The Dilemma of Technological Determinism*, MIT Press, 1994.
- [227] W. B. Stapp, D. Bennett, W. Bryan, J. Fulton, J. MacGregor, P. Nowak e S. Havlick, "The concept of environmental Education," *Environmental Education*, 1(1), p. 30-31, 1969.
- [228] M. Adomßent, J. Godemann e G. Michelsen, "Transferability of approaches to sustainable development at universities as a challenge," *International Journal of Sustainability in Higher Education* 8 (4), p. 385-402, 2007.
- [229] M. Stanitsas, K. Kiriopoulou e E. Vereilles, "Facilitating sustainability transition through serious games: A systematic literature review," *Journal of Cleaner Production*, 208, pp. 924-936, 2019.
- [230] R. Valderrama-Hernández, L. Alcántara e D. Limón, "The Complexity of Environmental Education: Teaching Ideas and Strategies from Teachers," *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 237, p. 968 - 974, 2017.
- [231] R. Barbier, *Pesquisa-Ação na Instituição Educativa*, Jorge Zahar, 1985.
- [232] K. Fonseca, "Investigação - Ação: uma metodologia para a prática e reflexão docente [Investigation - Action: a methodology for teaching practice and reflection]," *Revista Onis Ciência, Braga, V. 1, Ano 1 N° 2, ISSN 2182-598X*, pp. 16-31, dezembro 2012.
- [233] D. Tripp, "Action research: a methodological introduction," *Educação e Pesquisa*, v.31, n. 3., 2005.
- [234] G. Feola, M. K. Goodman, J. Suzunaga e J. Soler, "Collective memories, place-framing and the politics of imaginary futures in sustainability transitions and transformation," *Geoforum*, Volume 138, January 2023, <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.20>, 2023.
- [235] N. A. o. E. NAE, *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*, Washington, DC: The National Academies Press, 2005.

- [236] P. H. G. Berkhout, J. C. Muskens e J. W. Velthuisen, "Defining the rebound effect," *Energy Policy* Volume 28, Issues 6-7, pp. 425-432, 2000.
- [237] J. Slack, *The board game designer's guide*, Blueprint, 2017.
- [238] A. R. F. Santos, *EdScape - Framework for Learning with Virtual Escape Rooms - 3D environment*, Dissertação de Mestrado: FEUP, Mestrado em Engenharia Informática e Computação, 2022.
- [239] C. Mo Zheng, *EdScape - Sistema web de condecorações e Mini Jogos a utilizar em Escape Room Educativos*, Dissertação de Mestrado: FEUP, Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 2022.
- [240] N. Hertz, *O Século da Solidão: Como restaurar as ligações humanas*, Temas e Debates, 2021.
- [241] G. Parise, "Eco-design and energy ethics of microgrids," em *2021 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, 2021.
- [242] B. Mansilla, V. Miller e H. Gardner, "On disciplinary lenses and interdisciplinary work," em *Interdisciplinary curriculum: Challenges of implementation*, New York, Teachers College Press, 2000.
- [243] J. T. Klein, *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*, Detroit: Wayne State University Press., 1990.
- [244] W. H. Newell, "Decision making in interdisciplinary studies," em *Handbook of decision making*, New York, CRC, 2007.
- [245] E. J. Spelt, H. J. Biemans, H. Tobi, P. A. Luning e M. Mulder, "Teaching and learning in interdisciplinary higher education: A systematic review," *Educational Psychology Review*, 21, pp. 365-378, 2009.
- [246] G. G. Parise e M. Lombardi, "Ethics and Eco-Design for Complex Uses of Energy: What We Need for a Sustainable Future," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 28(5), pp. 74-79, 2022.
- [247] M. Stojčić, E. Zavadskas, D. Pamučar, Ž. Stević e A. Mardani, "Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008-2018," *Symmetry*. 11(3):350, 2019.
- [248] A. e. a. Pahwa, "Activities to infuse sustainability and renewable energy concepts in electrical and computer engineering," em *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)*, Rapid City, SD, USA, 2011.
- [249] M. Felgueiras, J. Rocha e N. Caetano, "Engineering education towards sustainability," *Energy Procedia*, 136, pp. 414-417, 2017.
- [250] D. G. Brewer, "The Challenges of interdisciplinarity," *Policy Sciences*, 32, pp. 327-337, 1999.
- [251] A. Chettiparamb, *Interdisciplinarity: a literature review*, Southampton: University of Southampton, 2007.
- [252] J. T. Klein, "A Conceptual Vocabulary of Interdisciplinary Science," em *Practising Interdisciplinarity*, London, University of Toronto Press, 2000, pp. 3-24.
- [253] M. Nissani, "Ten Cheers for Interdisciplinarity: The Case for Interdisciplinary Knowledge and Research," *The Social Science Journal*. 34 (2), pp. 201-216, 1997.
- [254] B. Miller, "Is Technology Value-Neutral?," *Science, Technology, & Human Values*, 46(1), pp. 53-80, 2021.

- [255] J. Biggs, "What the student does: Teaching for enhanced learning," *Higher education research & development*, 18(1), pp. 57-75, 1999.
- [256] R. S. Bowen, *Understanding by design*, Vanderbilt: Vanderbilt University Center for Teaching, 2017.
- [257] D. o. A. E. DAE, "Course Design Toolkit," 2021. [Online]. Available: <https://www.unco.edu/center-enhancement-teaching-learning/pdf/course-design/coursedesignworkbook2021.docx>.
- [258] J. B. Biggs e K. F. Collis, *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome)*, Academic Press, 2014.
- [259] A. Rizzo e E. Poletti, "Conexão do alinhamento construtivo e metodologias ativas," em *XIV Workshop de Pós-graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza*, 2019.
- [260] B. M. Luchesi, E. D. O. Lara e M. D. Santos, *Guia prático de introdução às metodologias ativas de aprendizagem*, Editora UFMS, 2022.
- [261] J. Santos e A. Gomes, *Guia profissional da engenharia eletrotécnica: aspetos técnicos, aspetos jurídicos, aspetos formais*, Porto: Engebook, 2022.
- [262] E. Resources, "Resources for environmental higher education," 2024. [Online]. Available: <https://jimproctor.us/envs/mapping-actors-processes/>.
- [263] Distrito, "DISTRITO TECNOLOGIA E SERVIÇOS S.A.," 16 08 2024. [Online]. Available: <https://distrito.me/blog/tecnologias-emergentes/>.
- [264] D. R. Haws, "The importance of meta-ethics in engineering education," *Science and Engineering Ethics*, 10, pp. 204-210, 2004.
- [265] D. d. C. DC, "Um terço dos universitários falta às aulas devido à ressaca," *Diário de Coimbra*, 1 may 2003.
- [266] L. Nunes, "Conversamos?!...," 7 4 2016. [Online]. Available: <https://conversamos.wordpress.com/2016/04/07/artigo-no-expresso/>.
- [267] J. Eduardo, "Copiar e Colar" em Projetos de Engenharia," 2021. [Online]. Available: <https://pt.linkedin.com/pulse/copiar-e-colar-em-projetos-de-engenharia-eduardo-junior>.
- [268] J. A. Schmidt, "Changing the paradigm for engineering ethics," *Science and engineering ethics*, 20(4), pp. 985-1010, 2014.
- [269] M. d. E. e. I. MEI, "Regras técnicas das instalações eléctricas de baixa tensão - Portaria n.º 949-A/2006 de 11 de Setembro.," *Diário da República*, 1.ª série — N.º 175 , 11 september 2006.
- [270] G. Veletsianos, "A definition of emerging technologies for education," *Emerging technologies in distance education*, 56(3), pp. 3-22, 2010.
- [271] D. Kennedy, A. Hyland e N. Ryan, *Writing and using learning outcomes, a practical guide*. EUA Bologna Handbook. Making Bologna Work, Berlin: European University Association, 2006.

- [272] P. R. Souza, APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E ALINHAMENTO CONSTRUTIVO: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS, Manaus: Tese de Mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, 2016.
- [273] M. A. S. Lopes, Metodologias ativas vs passivas: afinal qual a diferença no ensino de Geografia?, Porto: Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2023.
- [274] J. Biggs e C. Tang, Teaching for Quality Learning at University. 4 ed., Berkshire, England: Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011.
- [275] A. C. C. Moreira, O questionamento no alinhamento do ensino, aprendizagem e avaliação., Aveiro: Tese de doutoramento. Universidade de Aveiro., 2012.
- [276] G. Santos e P. S. Bassani, “Métodos e ferramentas para o processo de planejamento docente no contexto dos estudos da área de Design da Aprendizagem,” *Revista Novas Tecnologias na Educação* V18 N1, 2020.
- [277] U. o. N. Colorado, “Center for the Enhancement of Teaching & Learning,” 2022. [Online]. Available: <https://www.unco.edu/center-enhancement-teaching-learning/teaching-toolkits/course-design-toolkit.aspx> .
- [278] C. O’Neal e T. Pinder-Grover, “Center for Research on Learning and Teaching, University of Michigan,” 2005. [Online]. Available: https://ctlo.caltech.edu/documents/22883/Active_Learning_Continuum.pdf.
- [279] R. Lima e D. Mesquita, “Centro IDEA-UMinho,” 2021. [Online]. Available: <https://idea.uminho.pt/pt/ideadigital/entradas/Paginas/entrada33.aspx>.
- [280] E. P. Council, “Engineering Ethics Toolkit:,” 2024. [Online]. Available: <https://epc.ac.uk/resources/toolkit/ethics-toolkit/> .
- [281] G. Parise e M. Lombardi, “Ethics and Eco-Design for Complex Uses of Energy: What We Need for a Sustainable Future,” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 28 (5), pp. 74-79, 2022.
- [282] A. Gomes, Instalações Elétricas de Baixa Tensão: canalizações elétricas, Edições Publindústria, 2015.
- [283] C. D. N. CDN-OE, “Regulamento n.º 420/2015: Atos de Engenharia por Especialidade,” *Diário da República*, 2.ª série – N.º 139 – 20 de julho de 2015, 2015.
- [284] A. Aquino e O. P. Lavor, “Ensino de Instalações Elétricas Residenciais: uma sequência didática a partir de uma aplicação mobile,” *Revista REAMEC*, vol. 8, nº 2, pp. 125-146, 2020.
- [285] M. Matos, “Noções de dimensionamento de canalizações eléctricas,” FEUP, Porto, Portugal, 1996.
- [286] H. Moreno, “Dimensionamento econômico de condutores elétricos: um caminho para economizar energia,” PROCOBRE. Instituto Brasileiro de Cobre, 2016.
- [287] I. Barichello, “Dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos em baixa tensão,” Universidade São Francisco, Itatiba, Brazil, 2012.
- [288] L. Maíllo, “Secção económica. Cálculo da amortização de todas as secções de Afumex Class 1000 V (AS), Exzhellent Compact 1000 V (AS) e Exzhellent Compact Sectorflex 1000 V em todos os casos. Folha Excel

de cálculo automático,” [Online]. Available: <https://www.prysmianclub.pt/seccao-economica-calculo-da-amortizacao-de-todas-as-seccoes-em-todos-os-casos-folha-excel-de-calcul/>.

- [289] G. Parise, L. Martirano, L. Parise, L. Gugliermetti e F. Nardecchia, “A life loss tool for an optimal management in the operation of insulated power cables,” em *IEEE/IAS 53rd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*, Niagara, Canada, 2017.
- [290] P. Mancarella, C. K. Gan e G. Strbac, “Optimal design of low-voltage distribution networks for CO₂ emission minimisation. Part I: model formulation and circuit continuous optimisation,” *IET generation, transmission & distribution*, 5(1), pp. 38-46, 2011.
- [291] P. Mancarella, C. K. Gan e G. Strbac, “Optimal design of low-voltage distribution networks for CO₂ emission minimisation. Part II: Discrete optimisation of radial networks and comparison with alternative design strategies,” *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 5(1), p. 47-56, 2011b.
- [292] J. Morais e J. Pereira, *Guia Técnico das Instalações Elétricas*, Edições CERTIEL, 2006.
- [293] A. Cotrim, *Instalações Elétricas*, McGrawHill, 1992.
- [294] D. G. d. G. e. E. DGGE, *RTIEBT - 1ª edição anotada - Volume I*, CERTIEL, 2006.
- [295] F. Monteiro, “Dimensionamento de Instalações Elétricas: segurança da própria instalação. Provas Públicas conforme previsto no artigo n.6 do Decreto-Lei 45/2016 de 17 de agosto,” Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra - Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2019.
- [296] A. António Gomes, H. Silva e J. Carvalho, *Instalações Elétricas de Baixa Tensão: dimensionamento e proteção de canalizações elétricas*, Publindústria, Edições Técnicas, 2017.
- [297] B. Metz-Noblat, F. Dunas e C. Poulain, “Cahier technique n. 158: calculation of short-circuit currents,” Shneider Electric, 2005.
- [298] IEC, “norma IEC 60909,” 2018.
- [299] A. Gomes, H. Silva e J. Carvalho, *Instalações Elétricas de Baixa Tensão: dimensionamento e proteção de canalizações elétricas*, Publindústria, Edições Técnicas, 2017.
- [300] ES, “norma EN 60865,” 2018.
- [301] J. V. Matias, *Instalações Elétricas 1 - de acordo com as RTIEBT*, Plátano Editora, 2013.
- [302] J. Saraiva, “Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas em Baixa Tensão,” 2000.
- [303] E. R. d. S. E. ERSE, “Regulamento da Qualidade de Serviço dos Setores Elétrico e do Gás,” *Diário da República n.º 146/2023, Série II*, pp. 304 - 428, 28 07 2023.
- [304] G. Parise, L. Parise, J. Harvey e M. Anthony, “The In-Op design of electrical distribution systems based on microsystem criteria,” em *IEEE/IAS 52nd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*, Detroit, MI, USA, pp. 1-6, 2016.
- [305] M. Reynolds, J. Cutsor e L. E. Erickson, “Electrical Grid Modernization. In Solar Powered Charging Infrastructure for Electric Vehicles,” CRC Press, 2016, pp. 75-84.

- [306] T. Waas, J. Hugé, T. Block, T. Wright, F. Benitez-Capistros e A. Verbruggen, “Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development,” *Sustainability*, vol. 6, pp. 5512-5534, 2014.
- [307] K. Fichter, F. Lüdeke-Freund, S. Schaltegger e S. Schillebeeckx, “Sustainability impact assessment of new ventures: An emerging field of research,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 384, 2023.
- [308] S. d. G. d. C. I. d. E. SGCIE, “FABRICAÇÃO DE OUTROS FIOS E CABOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS - CADERNOS SUBSETORIAIS,” ADENE- Agência para a Energia, 2019.
- [309] M. Águas, *Gestão de Energia*, Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, 2009.
- [310] APA, “Fator de Emissão da Eletricidade - 2024,” Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa, 2024.
- [311] C. E. CE, “Relatório público sobre as emissões de CO₂ do transporte marítimo,” 2023.
- [312] Moldtrans, “Quais os maiores navios de carga do mundo e quanto podem transportar?,” 2023. [Online]. Available: <https://www.moldtrans.com/pt-pt/quais-os-maiores-navios-de-carga-do-mundo-e-quanto-podem-transportar/>.
- [313] M. Freitas, “Copper Recycling Leader: a reciclagem de cobre em Portugal,” 7 13 2018. [Online]. Available: https://www.compete2020.gov.pt/noticias/detalhe/Proj19561_CopperRecyclingLeader.
- [314] G. Parise, M. Ricci e G. Rubino, “Life loss of insulated power cables :an integrative criterium to improve the ANSI/IEEE and the CENELEC/IEC method for overload protection,” em *IEEEIAS*, A.M. San Diego, 1996.
- [315] A. S. Alghamdi e R. K. Desuqi, “A study of expected lifetime of XLPE insulation cables working at elevated temperatures by applying accelerated thermal ageing,” *Heliyon*, vol. 6(1), 2020.
- [316] IEEE, “IEEE Std 141-1993 Chapter 12 IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants,” IEEE, 1993.
- [317] APREN, “Boletim: Eletricidade Renovável (Março 2021),” APREN - Departamento Técnico e de Comunicação, 2021.
- [318] APREN, “Boletim: Eletricidade Renovável (Jan-Jun 2024). APREN - Departamento Técnico e de Comunicação,” APREN - Departamento Técnico e de Comunicação, 2024.
- [319] R. Goodland, “The concept of environmental sustainability. Annual review of ecology and systematics,” *Annual review of ecology and systematics*, pp. 1-24, 1995.
- [320] S. Ćurčić, G. Strbac e X. P. Zhang, “Effect of losses in design of distribution circuits,” *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, vol. 148(4), pp. 343-349, 2001.
- [321] ELPOR, “ELPOR,” 15 11 2023. [Online]. Available: <http://www.elpor.pt/catalogo/listaprodutos.php?cat=DAAA&sessao=1&filtro=&fixos=&rdonly=&hide=&auto=&wait=>.
- [322] LuzeGas.pt, “LuzeGas.pt,” 15 11 2023. [Online]. Available: <https://luzegas.pt/precos/preco-kwh>.
- [323] E. rates.eu, “Euribor rates.eu,” 21 09 2023. [Online]. Available: <https://www.euribor-rates.eu/pt/graficos-euribor/>.

- [324] Eurocabos, “Eurocabos,” 2006. [Online]. Available: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrCabos/cabosTabEurocabos.pdf>.
- [325] A. McAninch, “Go big or go home? A new case for integrating micro-ethics and macro-ethics in engineering ethics education,” *Science and Engineering Ethics*, 29(3), 20, 2023.
- [326] R. R. Kline, “Engineering Case Studies: Bridging Micro and Macro Ethics,” *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 29, no. 4, pp. 16-19, 2010.
- [327] J. R. Herkert, “Ways of thinking about and teaching ethical problem solving: Microethics and macroethics in engineering,” *Science and Engineering Ethics*, 11(3), p. 373-385, 2005.
- [328] F. Monteiro e A. Sousa, “CO2 Emissions Resulting from Large-Scale Integration of Electric Vehicles Using a Macro Perspective,” *Applied Sciences* 14, no. 14: 6177, p. <https://doi.org/10.3390/app14146177>, 2024.
- [329] V. Genovese e I. M. Silva, “Euronews,” 2023. [Online]. Available: <https://pt.euronews.com/my-europe/2023/03/03/congelada-lei-da-ue-sobre-fim-da-venda-de-veiculos-a-combustao>.
- [330] A. Schaun, “Autoesporte,” 2023. [Online]. Available: <https://autoesporte.globo.com/mobilidade/noticia/2023/03/alemanha-salva-a-europa-da-extincao-de-carros-a-combustao-a-partir-de-2035.ghtml>.
- [331] V. Sultan, A. Aryal e H. e. a. Chang, “Integration of EVs into the smart grid: a systematic literature review.,” *Energy Inform* 5, 65, 2022.
- [332] EDP, “Évora Inovcity-Smart Energy Living.,” EDP Distribuição SA., 2015.
- [333] P. Palensky e F. Kupzog, “Smart Grids.,” *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 38, pp. 201-226, 2013.
- [334] T. Alsuwian, A. Shahid Butt e A. Amin, “Smart Grid Cyber Security Enhancement: Challenges and Solutions—A Review.,” *Sustainability* 14, 14226, 2022.
- [335] A. H. Bagdadee e L. Zhang, “A review of the smart grid concept for electrical power system,” *Research anthology on smart grid and microgrid development*, pp. 1361-1385, 2022.
- [336] F. Ali, Z. Nazir, U. Inayat e S. M. Ali, “Ali, F., Nazir, Z., Inayat, U., & Ali, S. M. (2019). Infrastructure of South Korean Electric Power System and Potential Barriers for the Implementation of Smart Grid: A Review,” em *2019 International Conference on Innovative Computing (ICIC)*, 2019.
- [337] U. D. o. Energy, “The Smart grid: an introduction. How a smarter grid works as an enabling engine for our economy, our environment and our future,” U.S. Department of Energy, 2008.
- [338] H. S. Das, M. M. L. S. Rahman e C. W. Tan, “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 2020.
- [339] L. E. Erickson, J. Robinson, G. Brase e J. Cutsor, *Solar powered charging infrastructure for electric vehicles*, Boca Raton, FL: CRC Press., 2017.
- [340] E. E. A. EEA, “Greenhouse gas emissions from transport in Europe,” 2023.

- [341] P. E. PE, “Emissões de dióxido de carbono nos carros: factos e números (infografia),” 2023.
- [342] I. M. Sirojiddinova e A. S. Aminboyev, “Advantages and Disadvantages of Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles,” *American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture*, pp. 130-136, 2023.
- [343] M. Husinec, W. Strielkowski, T. Vacek e M. Vondracek, “Optimizing electric vehicles charging for enhancing environmental sustainability and reducing carbon emissions of freight transport: case of Czech Republic,” *Environmental Economics*, 15(1), pp. 16-31, 2024.
- [344] L. P. Fernandez, T. G. San Román, R. Cossent, C. M. Domingo e P. Frias, “Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks,” *IEEE transactions on power systems*, 26(1), pp. 206-213, 2010.
- [345] F. Mwasilu, J. J. Justo, E. K. Kim, T. D. Do e J. W. Jung, “Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration,” *Renewable and sustainable energy reviews*, 34, pp. 501-516, 2014.
- [346] P. Vaz, “Análise dos sistemas G2V e V2G no Contexto da Integração de Geração Renovável,” MasterThesis, Universidade de Coimbra, 2019.
- [347] S. D. G. a. E. SDGE, “Electric vehicle grid integration,” 2015. [Online]. Available: <http://www.westernlampac.org/2015%20Spring%20Conference/Laura%20McDonald%20EVGI%20LAMPAC%20Presentation%20042715.pdf>.
- [348] M. N. Tasnim, J. M. K. Riana, T. Shams, M. Shahjalal, N. Subhani, M. R. Ahmed e A. Iqbal, “A critical review on contemporary power electronics interface topologies to vehicle-to-grid technology: Prospects, challenges, and directions,” *IET Power Electronics*, 17(1), pp. 157-181, 2024.
- [349] M. Ehsani, M. Falahi e S. Lotfifard, “Vehicle to grid services: potential and applications,” *Energies* 5(10), p. 4076-4090, 2012.
- [350] B. K. Sovacool, J. Kester, L. Noel e G. Z. de Rubens, “Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 2020.
- [351] M. T. Kahlen, W. Ketter e J. van Dalen, “Electric vehicle virtual power plant dilemma: Grid balancing versus customer mobility,” *Production and Operations Management*, 27(11), pp. 2054-2070, 2018.
- [352] A. V. D. Silva, “Problema de Roteamento de Veículos Elétricos: otimização da vida útil das baterias,” Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo, 2020.
- [353] M. D. Galus, M. G. Vayá, T. Krause e G. Andersson, “The role of electric vehicles in smart grids,” *Advances in Energy Systems: The Large-scale Renewable Energy Integration Challenge*, pp. 245-264, 2012.
- [354] A. Nordelöf, M. Messagie, A. M. Tillman, M. Ljunggren Söderman e J. Van Mierlo, “Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, pp. 1866-1890, 2014.

- [355] L. A. W. S. B. Ellingsen e A. H. Strømman, “The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles,” *Environmental Research Letters*, 11(5), 2016.
- [356] S. Aleksic e V. Mujan, “Exergy cost of information and communication equipment for smart metering and smart grids,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 14, pp. 1-11, 2018.
- [357] T. J. Kotas, *The exergy method of thermal plant analysis*, Paragon Publishing, 2012.
- [358] S. Á. Funke, F. Sprei, T. Gnann e P. Plötz, “How much charging infrastructure do electric vehicles need? A review of the evidence and international comparison,” *Transportation research part D: transport and environment*, 77, pp. 224-242, 2019.
- [359] EEA, “EEA Report No 13/2018, Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report,” European Environment Agency, 2018.
- [360] R. Costa, “Quem é o condutor português? Conduz 9000 quilómetros por ano, tem carro com uma década e usa-o diariamente,” 2018. [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2018/01/23/sociedade/noticia/quem-e-o-condutor-portugues-conduz-nove-mil-quilometros-por-ano-tem-carro-com-uma-decada-e-usao-diariamente-1800028>.
- [361] I. L. Wiesberg, G. V. Brigagão, F. A. Ofélia de Queiroz e J. L. de Medeiros, “Carbon dioxide management via exergy-based sustainability assessment: Carbon Capture and Storage versus conversion to methanol,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, pp. 720-732, 2019.
- [362] M. A. Rosen, I. Dincer e M. Kanoglu, “Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact,” *Energy policy*, 36(1), pp. 128-137, 2008.
- [363] J. Wu e N. Wang, “Exploring avoidable carbon emissions by reducing exergy destruction based on advanced exergy analysis: A case study,” *Energy*, 206, 2020.
- [364] Eurostat, “Motorisation rate, by NUTS 2 regions, 2022,” 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Stock_of_vehicles_at_regional_level&oldid=637106#Stock_of_passenger_cars_at_regional_level.
- [365] D. Nunes, “Na União Europeia havia um carro por cada dois habitantes em 2020,” 2022. [Online]. Available: <https://eco.sapo.pt/2022/07/27/na-uniao-europeia-havia-um-carro-por-cada-dois-habitantes-em-2020/>.
- [366] J. Hernández-Moro e J. M. Martínez-Duart, “CSP electricity cost evolution and grid parities based on the IEA roadmaps,” *Energy Policy* 41, p. 184-192, 2012.
- [367] R. Sprague, “An analysis of current battery technology and electric vehicles,” *Journal of undergraduate research*, 5(1), pp. 70-75, 2015.
- [368] M. Nour, H. Ramadan, A. Ali e C. Farkas, “Impacts of plug-in electric vehicles charging on low voltage distribution network,” em *2018 International conference on innovative trends in computer engineering (ITCE)*, 2018.

- [369] J. A. Sa'ed, M. Amer, A. Bodair, A. Baransi, S. Favuzza e G. Zizzo, "A simplified analytical approach for optimal planning of distributed generation in electrical distribution networks," *Applied Sciences*, 9(24), 2019.
- [370] S. Díaz, "Electric power losses in distribution networks," *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(12), pp. 581-591, 2021.
- [371] A. K. Dashtaki e M. R. Haghifam, "A new loss estimation method in limited data electric distribution networks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(4), pp. 2194-2200, 2013.
- [372] A. D. S. M. G. Eusébio, "Estudo de perdas na rede de baixa tensão e possibilidade da sua redução," Master's degree dissertation, Instituto Politécnico do Porto, 2017.
- [373] D. Horak, A. Hainoun e H. M. Neumann, "Techno-economic optimisation of long-term energy supply strategy of Vienna city," *Energy Policy*, 158, 2021.
- [374] J. Saraiva, J. Silva e M. Leão, *Mercados de Eletricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes*, Porto: FEUPedições, 2002.
- [375] M. Waldron, "Exploring failed electricity deregulation: Lawyers' role in supporting a healthy marketplace," *Geo. J. Legal Ethics*, 19, p. 1005, 2006.
- [376] P. Ribeiro, "Como a Enron se aproveitou da crise energética da Califórnia," *Público*, p. online, 13 maio 2002.