
Energia, Mobilidade e Transportes

Margarida C. Coelho

ENERGIA, MOBILIDADE E TRANSPORTES

MARGARIDA C. COELHO

UA EDITORA - UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Ficha Técnica

Título: Energia, Mobilidade e Transportes

Autora: Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Editora: UA Editora – Universidade de Aveiro

1ª edição - março 2021

ISBN: 978-972-789-687-5

DOI: <https://doi.org/10.48528/da7g-j710>

Biografia da Autora

Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho finalizou a Licenciatura em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico (IST) em dezembro de 2000, com a classificação final de 17 valores. Iniciou investigação na área de Energia, Transportes e Ambiente em 2000 no Departamento de Engenharia Mecânica do IST com o Projeto Final de Curso intitulado “Impacte do transporte rodoviário na poluição do ar. Metodologia de previsão de emissões e dispersão. Aplicação a uma zona de Lisboa.” (classificação de 19 valores).

Desenvolveu investigação na Divisão de Transportes, Energia e Ambiente do Grupo de Investigação em Energia e Desenvolvimento Sustentável do IDMEC-IST (Departamento de Engenharia Mecânica do IST), nomeadamente na avaliação e modelação do impacte ambiental do tráfego (ao nível de emissões de poluentes) em corredores lineares de acesso a áreas urbanas, em particular na análise energética e ambiental decorrente da presença de interrupções de tráfego (como semáforos, rotundas e portagens), que originam situações de fila. Este trabalho de investigação constituiu a sua Tese de Doutoramento, desenvolvida no Departamento de Engenharia Mecânica do IST, concluída em 2005, e realizada em parceria entre o IDMEC-IST e o Institute for Transportation Research and Education da North Carolina State University (ITRE-NCSU).

Lecionou como monitora no IST entre 1999-2003, na Secção de Ambiente e Energia do Departamento de Engenharia Mecânica. Realizou, ainda, no mesmo instituto apoio ao serviço docente no Departamento de Engenharia Mecânica e de Engenharia Civil, entre 2003-2005.

Margarida Coelho iniciou as suas atividades de docência e investigação no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (DEM-UA) em setembro de 2005 onde é atualmente Professora Auxiliar com Agregação e com exclusividade do DEM-UA, em regime de contrato de trabalho em funções públicas, por tempo indeterminado (provisão definitiva). Em setembro de 2020 foi aprovada por unanimidade nas suas provas de Agregação em Engenharia Mecânica. A sua especialidade científica incide na área Engenharia Mecânica - Energia e Transportes.

A docente lecionou catorze unidades curriculares na área de térmica e fluidos, tendo assegurado ao longo dos anos a regência de sete. Adicionalmente, a docente criou uma área de ensino e investigação, que era inexistente na UA, dedicada à avaliação energética dos sistemas de transportes. Foi a responsável pela proposta de criação de unidades curriculares neste domínio, nomeadamente as unidades curriculares “Sistemas Avançados de Transportes”, “Energia, Mobilidade e Transportes” e “Energia nos Transportes”, de forma a colmatar a inexistência dessa área temática.

Em 2019 foi a principal responsável (PEP) pela proposta de criação de um novo ciclo de estudos de segundo ciclo, o Mestrado em Mobilidade Inteligente (aprovada pelos Conselhos Científico e Pedagógico da UA; em fase de apreciação pela Agência de Creditação de Ensino Superior – A3ES).

No âmbito pedagógico é igualmente de referir que a candidata criou de raiz e implementou o Programa de Tutoria do Departamento de Engenharia Mecânica / Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da UA, que envolveu 9 tutores/20 mentores/96 tutorandos na sua 1ª edição (2014-2015), 14 tutores/16 mentores/131 tutorandos na sua 2ª edição (2015-2016), 10 tutores/25 mentores/114 tutorandos na sua 3ª edição (2016-2017), 10 tutores/25 mentores/105 tutorandos na sua 4ª edição (2017-2018) e 9 tutores/23 mentores/117 tutorandos na sua 5ª edição (2018-2019).

Foi igualmente a impulsionadora da criação do grupo de investigação “Transportation Technology” do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA) em 2012. Tem concentrado os seus interesses de investigação nos impactes do sistema de transportes, na mobilidade inteligente, na mobilidade ativa e na avaliação de ciclo de vida de vetores energéticos alternativos.

Em janeiro de 2021 possuía um h-index de 16, com um total de 909 citações (fonte: Scopus). Tem mais de 80 artigos publicados (ou em fase de impressão) em revistas científicas pertencentes ao sistema ISI (tais como *Journal of Hydrogen Energy*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *Science of the Total Environment*, *Sustainable Cities & Society*, *Transportation Research Part A e D*, *International Journal of Sustainable Transportation*, *Transportation Research Record*, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, *Atmospheric Environment*), edição de 8 livros, 8 capítulos em livros e mais de 210 artigos científicos apresentados em conferências nacionais e internacionais, que se encontram publicados nas Atas das respetivas conferências.

Ao longo dos anos foi responsável pela captação de mais de 2,000,000 Euros para financiamento de projetos sediados no TEMA. Foi Investigadora Responsável de três Projetos financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), a Coordenadora na UA de um Projeto Europeu inserido no Programa de Cooperação Territorial Interreg IV B SUDOE, a Coordenadora de quatro Projetos financiados pela Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento (FLAD) / US National Science Foundation (NSF), no âmbito do Programa “Portugal-EUA: Parcerias e Redes para Investigação” e outros Projetos de cooperação com a sociedade. Atualmente é Investigadora Responsável de um Projeto FCT, Co-Responsável por outro Projeto FCT, Vice-Coordenadora de 1 Projeto do Programa Interreg Europe e Coordenadora local (no TEMA) de um projeto PAC (Projetos de Ações Conjuntas) – FCT/Portugal2020, bem como de outro Projeto FCT. Estes projetos (anteriores e presentes) envolvem inúmeras instituições: Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM); Instituto de Telecomunicações (IT); Centro de Informática e Sistemas (CISUC) da Universidade de Coimbra (UC); Centro de Matemática (CMUC) da UC; Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente (CITTA) da UC; North Carolina State University, EUA; University of Tennessee, Knoxville, EUA; Old Dominion University, Virginia, EUA; Intelligent Transport Systems (ITS) Roménia; Autoridade Metropolitana de Bucareste; Câmara Municipal de Águeda; Agência de Energia da Estremadura; Universidade de Vigo; Instituto Energético da Galiza; Universidade de Almería; Universidade de Pau; Universidade de Salerno.

Desde o início da sua atividade profissional que tem frequentado diversos centros de investigação (em estágios de curta duração), dos quais se salientam o Massachusetts Institute of Technology (MIT), ITRE-NCSU, University of North Carolina at Chapel Hill, Northwestern University, Old Dominion University, o National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory da U.S. Environmental Protection Agency, o National Renewable Energy Laboratory e a Universidade de Salerno. Foi a impulsionadora da assinatura de diversos Memorandos de Entendimento e protocolos nas áreas dos sistemas de transportes, energia e aplicações energéticas da nanotecnologia entre o DEM-UA e diversas instituições, tais como: German Aerospace Centre (DLR); Departamento de Engenharia Civil da Old Dominion University; NCSU; Autoridade Nacional para a Segurança Rodoviária.

5 estudantes de Doutoramento (Programa Doutoral em Engenharia Mecânica da UA), 69 estudantes de Mestrado e 7 estagiários (Programa GALP21) concluíram os seus estudos sob a sua supervisão. Orienta de momento 2 investigadores doutorados, 6 estudantes de Doutoramento e 4 estudantes de Mestrado.

É *Associate Editor* de 3 revistas científicas e participa regularmente na revisão de artigos no domínio da mobilidade.

Participou igualmente na organização de eventos científicos, como o Research Day da UA, de conferências internacionais e de uma *summer school*.

É neste momento Vice-Diretora do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, sendo responsável pela área de gestão de ciência. É Diretora de Curso do novo Ciclo de estudos Mestrado em Mobilidade Inteligente. Foi Vice-Diretora de Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica entre 2013 e 2015. É membro da Comissão de Curso do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Foi convidada pela Reitoria para integrar a estrutura de coordenação da Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da UA.

É Especialista em Energia, bem como em Transportes e Vias de Comunicação pela Ordem dos Engenheiros. É membro vogal da Comissão de Especialização em Energia da mesma Ordem profissional.

AGRADECIMENTOS

Considero que tive ao longo destes anos o apoio incondicional de vários colegas, professores e investigadores de diferentes campos científicos, com os quais partilhei a evolução do conhecimento, da investigação, do rigor e das competências técnico-científicas e que me inspiraram a prosseguir sempre com uma atitude intelectualmente positiva. Por esse motivo gostaria de destacar (listados por ordem cronológica), a despeito de muitos outros, por me terem motivado e inspirado para a prática do rigor na docência e na investigação:

Prof. J.J. Delgado Domingos, Prof. Jorge Calado, Prof. João Ventura, Prof. Tiago Farias, Prof. Nagui Roupail, Prof. Fernando Nunes da Silva, Prof. H. Christopher Frey, Prof. Asad Khattak, Prof. José Grácio, Prof. Antonio Sousa e Prof. Carlos Borrego.

Gostaria também de testemunhar o meu sincero apreço pelas sucessivas Direções do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA) e das equipas reitorais da UA, pela total cooperação para a minha evolução profissional.

Em sala de aula muitas vezes aprendo tanto ou mais do que ensinei. Recordo, em particular, o ensino que vivencio em ambiente multicultural (que chegou a juntar estudantes de oito nacionalidades na mesma sala de aula, provenientes de quatro continentes!) e multidisciplinar (com estudantes com formação em diversos ramos de Engenharia, Arquitetura, Biologia, Design, entre outras) e do qual retiro sempre um enorme prazer pessoal e profissional.

Gostaria, ainda, de destacar a minha jovem equipa de investigadores de pós-doutoramento, bolseiros de doutoramento e de bolseiros de investigação, pelo seu trabalho.

Como nota final (e pessoal) dedico este documento aos meus pais, porque em tudo o que fazem há beleza e por me terem guiado até à estante dos livros.

Neste documento apresentam-se resultados dos projetos financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, P2020 e COMPETE: SMARTDECISION: Sistema Inteligente de Suporte à Decisão de Percursos para uma Melhor Qualidade do Ar em Áreas Urbanas (PTDC/SEN-TRA/115117/2009); @CRUiSE - Plataforma de Comunicação Veículo-Infraestrutura para Integração de Impactes de Tráfego (PTDC/EMS-TRA/0383/2014); MobiWise: from Mobile Sensing to Mobility Advising (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE- Driving Information in a Connected and Autonomous Vehicle Environment: Impacts on Safety and Emissions (POCI-01-0145-FEDER-029463).

Margarida C. Coelho

Índice

BIOGRAFIA DA AUTORA	I
AGRADECIMENTOS	IV
NOTA PRÉVIA	2
1. ENQUADRAMENTO, OBJETIVOS E COMPETÊNCIAS.....	9
2. PROGRAMA DA UNIDADE CURRICULAR	11
2.1. ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA.....	11
2.2. DESENVOLVIMENTOS DOS CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS.....	15
3. A INVESTIGAÇÃO NO ENSINO-APRENDIZAGEM EM RESPOSTA AO DESAFIO SOCIETAL DA MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES.....	26
3.1. IMPACTES DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DE PARADIGMAS TRANSFORMADORES NA INFRAESTRUTURA VIÁRIA: O PAPEL DA INOVAÇÃO EM ROTUNDAS NA ACALMIA DE TRÁFEGO	27
3.2. IMPACTES DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DE PARADIGMAS TRANSFORMADORES NO COMPORTAMENTO DO CONDUTOR: O PAPEL DO ECO-ROTEAMENTO	29
3.3. IMPACTES DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DE PARADIGMAS TRANSFORMADORES NO VEÍCULO: A MOBILIDADE AUTÓNOMA	32
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	34

Nota prévia

«All knowledge which ends in words will die as quickly as it came to life, with the exception of the written word: which is its mechanical part.»

Leonardo Da Vinci

Neste texto a autora descreve uma proposta de textos de apoio à unidade curricular “Energia, Mobilidade e Transportes” dessa unidade curricular, enquadrada no plano curricular do Mestrado em Engenharia Mecânica (MEM) da UA, Mestrado em Mobilidade Inteligente, bem como dos cursos de Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis (MSES) e do Mestrado em Engenharia do Ambiente (MEA) da mesma instituição de ensino. Esta unidade curricular consta ainda do plano curricular do Mestrado em Mobilidade Inteligente (proposta de criação de ciclo de estudos em avaliação pela Agência de Avaliação e Acreditação do Ensino Superior – A3ES). Podem ainda frequentar a unidade curricular os estudantes de Programas Doutorais da UA (na unidade curricular “Opção livre”).

No presente caso, trata-se de uma das unidades curriculares da área científica de engenharia mecânica (“EMEC”). A legislação nada refere, no entanto, quanto à natureza da unidade curricular, se a mesma deverá obrigatoriamente constar de algum plano curricular em vigor, de Licenciatura ou de Mestrado. Trata-se de uma unidade curricular que visa realçar conteúdos e contributos oriundos das áreas de termodinâmica, máquinas térmicas e engenharia térmica para fundamentar uma Engenharia Mecânica de suporte aos sistemas e tecnologias de transportes. Considera-se que o seu currículo, tanto mais que se trata de uma unidade curricular que integra diversos cursos de Mestrado, deve ter um carácter aberto para poder integrar elementos provenientes tanto da investigação sobre esta área temática como da articulação entre a reflexão pessoal e a experiência dos próprios mestrandos.

Salienta-se que esta unidade curricular foi criada no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) como disciplina de opção no ano letivo de 2007/2008, para colmatar a inexistência dessa área temática. A docência e regência tem sido sempre assegurada pela autora do presente documento e contou no primeiro ano com 20 estudantes inscritos, número que quase triplicou a partir do segundo ano de leção, o que demonstra o seu interesse para os estudantes na área de Energia e Transportes. Nos últimos anos letivos, o número médio de estudantes que tem frequentado a unidade curricular é 40. A docente tem, ainda, conhecimento de que alguns estudantes que frequentaram a unidade curricular encontram-se a trabalhar em empresas do setor de transportes, nomeadamente na área da gestão de frotas.

Curiosamente, verifica-se nesta unidade curricular que parte dos estudantes matriculados são oriundos de outras áreas de formação ao nível do 1.º ciclo (que não a Engenharia Mecânica), que podem ir desde Biologia, Meteorologia, Oceanografia e Física a Engenharia do Ambiente, Engenharia Civil, Engenharia Eletrotécnica, Engenharia de Energias Renováveis, entre outras). Esta particularidade conduz a uma

interessante heterogeneidade e vivências acadêmicas e profissionais distintas, mas coloca à docente um desafio e uma exigência superior de forma a que todos os estudantes percecionem as matérias sem se perder o rigor científico dos conteúdos. Para além disso, este facto exige alguma flexibilidade na forma de leção, sempre a considerar o equilíbrio na seleção das matérias, bem como o desenvolvimento e aprofundamento a dar a cada uma delas.

O documento aqui apresentado decorre do enquadramento e vivência institucional da docente, nomeadamente: 1) pela experiência obtida em treze anos de leção das aulas teóricas e práticas da unidade curricular para os Mestrados acima referidos, entre 2007 e 2020; 2) pelo trabalho de investigação e orientação de trabalhos científicos na área dos sistemas e das tecnologias de transportes, no âmbito das atividades científicas do DEM e na coordenação do grupo de investigação “Transportation Technology” do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA); e, finalmente, 3) pela troca de ideias e experiências valiosas de trabalho com docentes e investigadores de diversas instituições, das quais se salienta o Instituto Superior Técnico (onde a autora iniciou a sua carreira de docência no Departamento de Engenharia Mecânica – como monitora – e de investigação, ao nível do Doutoramento), o Institute for Transportation Research and Education da North Carolina State University, University of North Carolina at Chapel Hill, Old Dominion University, Massachusetts Institute of Technology, Northwestern University, National Renewable Energy Laboratory e Universidade de Salerno (instituições onde teve oportunidade de frequentar vários estágios de investigação).

É de salientar a relevância dos sistemas de transportes para o desafio da competitividade e do desenvolvimento da economia nacional, assim como a necessidade de se assegurar a mobilidade e acessibilidade a pessoas e bens, de forma eficiente e adequada, promovendo a inclusão social. A temática da mobilidade inteligente tem uma dimensão global bastante vincada e converge em desafios societários preconizados pela Comissão Europeia e nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (UN, 2020). No entanto, é de salientar que a mobilidade inteligente per se não é especificamente um dos ODS, mas aparece subjacente em praticamente todos eles. Em particular, enquadra-se mais especificamente no ODS 11 “Cidades e Comunidades Sustentáveis” da Agenda de Desenvolvimento Sustentável (que visa que, até 2030, seja fornecido acesso a sistemas de transportes acessíveis, seguros, sustentáveis e acessíveis para todos, com atenção especial às necessidades das pessoas vulneráveis), mas abrange igualmente tópicos que se podem inserir nos ODS 3 (saúde de qualidade), 7 (energias renováveis e acessíveis), 12 (produção e consumo sustentáveis) e 13 (ação climática).

Por sua vez, os conteúdos programáticos da unidade curricular estão inseridos nos objetivos estratégicos das organizações Norte-Americanas Transportation Research Board TRB e Volpe Center (TRB, 2019; Volpe Center, 2020), esta última ligada ao Departamento de Transportes Norte-Americano, nomeadamente nos domínios críticos 1 (*Transformational Technologies and Services*), 2 (*Serving a Growing and Shifting Population*), 3 (*Energy and Sustainability*), 5 (*Safety and Public Health*), 6 (*Equity*), 8 (*System Performance and Asset Management*) e 12 (*Research and Innovation*).

Deste modo, e tendo em conta o compromisso da UA de estar ao serviço da ciência e da sociedade, demonstra-se a adequação científica da área temática “Energia, Mobilidade e Transportes” aos interesses e

necessidades do projeto da UA, às comunidades científica e empresarial, e ao nível da estratégia nacional. A inclusão da “Energia, Mobilidade e Transportes” no elenco das unidades curriculares da área científica em Engenharia Mecânica na UA, representa por si só um avanço na perceção da relevância do setor dos transportes na perspetiva energética, nomeadamente por ser um setor muito difícil de controlar e em permanente mudança.

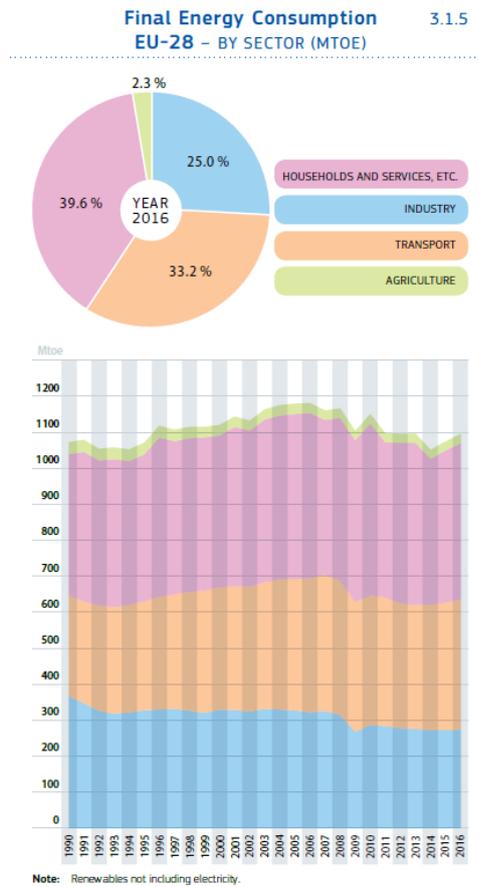
Assim, porquê uma unidade curricular denominada “Energia, Mobilidade e Transportes”? De seguida enumeram-se os três factos principais que motivaram a docente a propor a criação de uma unidade curricular dedicada a esta temática:

1. Relevância do setor dos transportes na economia: na Europa este setor emprega diretamente cerca de 10.5 milhões de pessoas e, em 2015, representou cerca de 9% do PIB da União Europeia (EU), bem como 9% do emprego total da UE. No que diz respeito ao comércio internacional: em 2016, 17.2% das exportações totais de serviços foram relacionadas com o setor dos transportes¹. Em Portugal, o setor dos transportes e armazenagem representava, em 2011, 2.1% das empresas, 4.3% do pessoal ao serviço, 5.2% do volume de negócios e 6.7% do valor acrescentado do total nacional².
2. Relevância do consumo de combustível do setor dos transportes (quando comparado com outros setores de atividade), bem como a instabilidade nos respetivos preços (Figura 1). O setor dos transportes representa cerca de um terço do consumo de energia primária em Portugal (Quadro 1), sendo essencial reduzir a sua intensidade energética de modo a promover a competitividade. Trata-se de um setor que depende fortemente do petróleo e dos produtos petrolíferos, que representam cerca de 96% das suas necessidades energéticas. Reduzir esta dependência constitui uma necessidade e um desafio tecnológico.
3. Necessidade de redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) (Figuras 2 e 3) e de poluentes locais, face à relevância do setor dos transportes nas suas emissões. Entenda-se que por “poluentes locais” denominam-se os poluentes que causam um impacto direto e negativo na saúde humana.
4. Relevância de outros impactes do sistema dos transportes, como o congestionamento de tráfego e segurança rodoviária, que evidenciam a complexidade do setor (Figura 4).

¹ Relatório «Transport in the European Union - Current Trends and Issues», Directorate-General for Mobility and Transport (DG MOVE) da Comissão Europeia, 2018.

² Relatório «Diagnóstico de Apoio às Jornadas de Reflexão Estratégica – Mobilidade, Transportes e Logística», Ciclo de Jornadas de Reflexão Estratégica - Estratégia Nacional de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente, 2013.

a)



b)

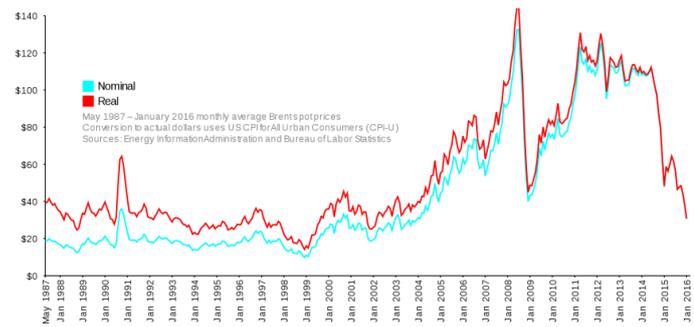
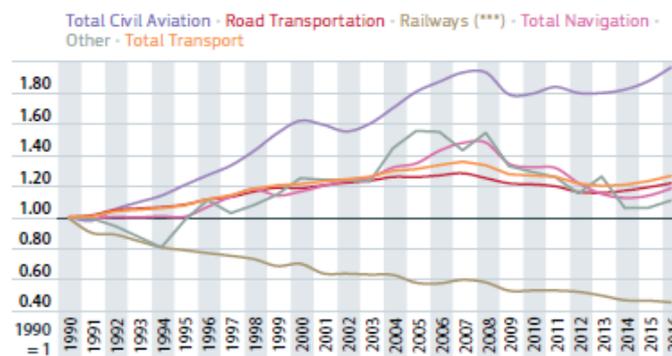


Figura 1: a) Evolução da distribuição do consumo energético (em Mtep) pelos diversos setores de atividade na EU-27, de 1990 a 2016 ³; b) Evolução dos preços do petróleo de 1987 a 2016 ⁴

a)



³ Fonte: European Transport in Figures 2018, European Commission, https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2018_en

⁴ Fonte: Energy Information Administration and Bureau of Labor Statistics.

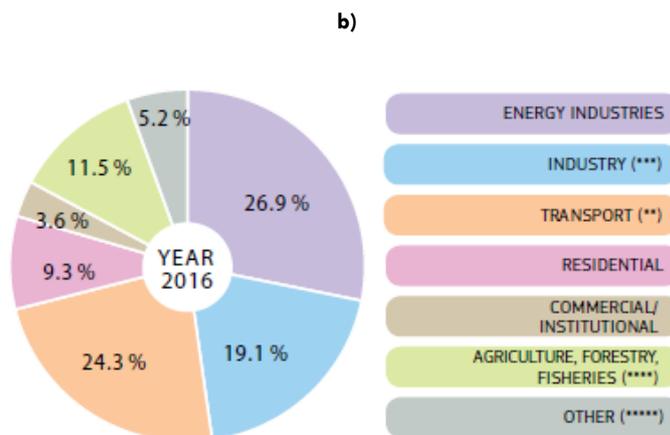


Figura 2: Emissões de GEE na EU-28, totais e pelos diversos setores de atividade: a) Evolução de 1990 a 2016 ; Distribuição percentual em 2016 ³

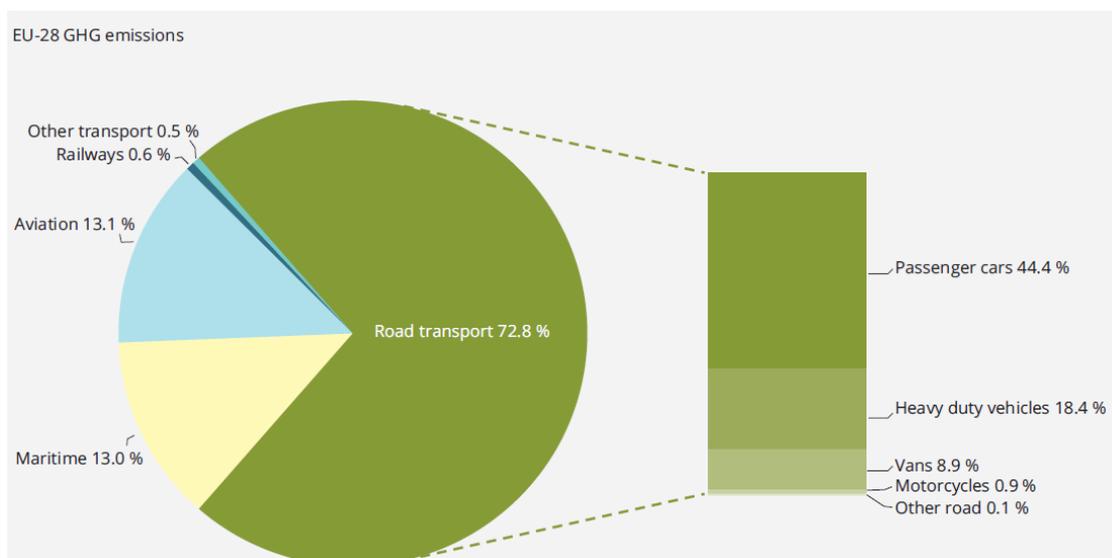


Figura 3: Contribuição dos vários modos de transportes nas emissões de GEE do setor em 2014 ⁵

⁵ Relatório «TERM 2016: Transitions towards a more sustainable mobility system», Agência Europeia do Ambiente, 2016.

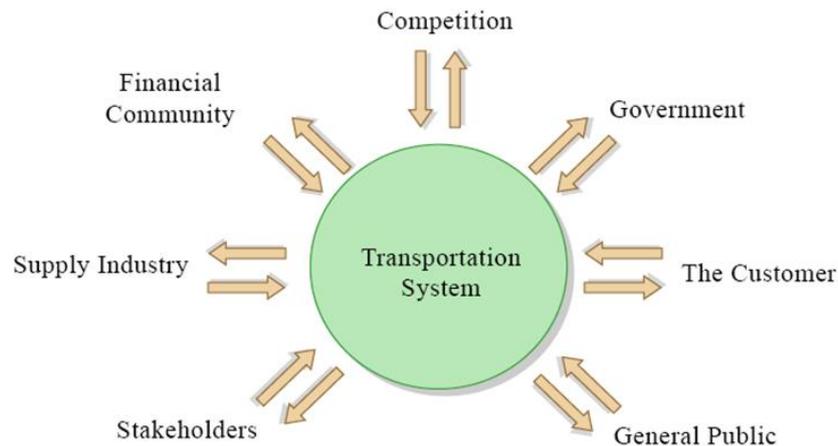


Figura 4: Esquema das componentes externas do sistema de transportes ⁶

Assim, os objetivos desta unidade curricular são, sobretudo, instruir o estudante na síntese e integração de vários conceitos fundamentais para a correta perceção da mudança de paradigmas no setor dos transportes, bem como a interpretação das consequências do ponto de vista de impactes energéticos (e outros) do setor e a valorização da avaliação multicritério com o objetivo último de minimizar em conjunto esses impactes.

Do ponto de vista do ensino de Engenharia Mecânica, esta temática constitui uma área de estudo relevante para os estudantes, com todas as inovações e mudança de paradigma que o setor está a atravessar. Nesta perspetiva, apresenta-se uma proposta de textos de apoio à unidade curricular denominada “Energia, Mobilidade e Transportes” respeitando os objetivos pedagógicos e o espírito do DEM, bem como o perfil profissional do engenheiro mecânico, no domínio temático de energia. Todavia, é apresentada uma proposta original, fruto da experiência e vivência profissional, com um cunho pessoal e lançando um olhar crítico, num domínio científico e técnico em constante e rápida evolução. Assim, esta abordagem leva por certo a que “«mechanical engineers can be at the forefront of developing new technology for energy, environment [...] transportation, safety, [...]»», como é preconizado no Relatório da American Society for Mechanical Engineers «2028 Vision for Mechanical Engineering».

Os objetivos a atingir pela docente na lecionação da unidade curricular aqui apresentada pretendem seguir as linhas de orientação da Reitoria da UA, nomeadamente no que se refere:

- a) ao desenvolvimento permanente na UA de uma pedagogia de ensino dinâmica, com conteúdos atualizados;
- b) à contribuição para o desenvolvimento do espírito crítico, inventivo e criador dos estudantes, apoiando-os para uma postura autónoma e de rigor, bem como a estimulá-los para uma formação cultural, científica, profissional e humana;
- c) a desenvolver os seus conhecimentos culturais e científicos;

⁶ Fonte: Sussman, Joseph M., “Introduction to Transportation Systems”, MIT OpenCourseWare, 2006.

d) ao desempenho ativo das atividades formativas na UA, através de uma docência de qualidade no âmbito dos Mestrados e dos Programas Doutorais em que o DEM participa, passando igualmente pela elaboração de materiais didático-pedagógicos atualizados, colocando-os à disposição dos estudantes;

e) na prossecução de áreas de articulação da UA com outros *stakeholders* da Região de Aveiro no campo dos “Transportes Sustentáveis”, de forma a atuarem como catalisadores do desenvolvimento regional e da inovação.

Adicionalmente, do ponto de vista da autora, em qualquer curso de Engenharia deverá ser estimulado o desenvolvimento das capacidades de raciocínio e reflexão cognitiva por parte do estudante, de uma forma construtiva. Assim, torna-se vital que o docente não leccione as temáticas assentes única e exclusivamente na informação disponível, mas que possa necessariamente desenvolver competências nos estudantes, nomeadamente na forma como se investiga e se desenvolve trabalho na temática dos sistemas e tecnologias de transportes. Assim, o objetivo final desta abordagem no processo de ensino-aprendizagem será uma prática eficaz do “saber-fazer” que incentive a reflexão crítica e a discussão dos diferentes temas abordados na unidade curricular. Com efeito, para a aquisição dessas competências ter-se-ão que fundamentar as explicações sobre um determinado domínio, de forma a ultrapassar um dado desafio em engenharia.

Em suma, com a unidade curricular proposta pretende-se que o estudante finalista utilize as competências adquiridas nas unidades curriculares anteriores (nomeadamente, do domínio de térmica e fluidos) na compreensão do setor dos transportes, como um setor-chave no que diz respeito aos consumos de energia fóssil e à influência na matriz energética de uma cidade / região / país. A unidade curricular pretende igualmente contribuir para que o estudante adquira uma atitude esclarecida em relação a:

- Selecionar e aplicar de forma correta uma metodologia quantitativa, com o intuito de apresentar, interpretar e avaliar criticamente os resultados obtidos;
- Reconhecer a importância do rigor na análise e na interpretação de dados em sistemas de transportes;
- Demonstrar uma abordagem crítica construtiva, uma criatividade e uma atitude orientada para incorporar as metodologias da investigação nas atividades profissionais, numa base assertiva e pragmática;
- Identificar e demonstrar estratégias para atingir os objetivos da aprendizagem.

1. Enquadramento, objetivos e competências

« [...] mechanical engineering will evolve and collaborate as a global profession over the next 20 years through a shared vision to develop engineering solutions that foster a cleaner, healthier, safer and sustainable world» [...] «mechanical engineers can be at the forefront of developing new technology for energy, environment [...] transportation, safety, [...]»

in Relatório «2028 Vision for Mechanical Engineering» da American Society for Mechanical Engineers

A unidade curricular de “Energia, Mobilidade e Transportes” faz parte do 5º ano, 1º semestre, do plano de estudos do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, sendo uma disciplina optativa do grupo IV. É dirigida a um público-alvo na área das engenharias, especificamente estudantes do Mestrado em Engenharia Mecânica, do Mestrado em Mobilidade Inteligente, do Mestrado em Engenharia do Ambiente e do Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis, entre outros. Requer conhecimentos prévios específicos de unidades curriculares básicas da área da energia (como termodinâmica e máquinas térmicas). Pretende-se, assim, que a frequência da unidade curricular (no 5.º ano) seja um culminar da aprendizagem adquirida na área de “térmica e fluidos” ao longo do curso, tendo em vista a sua aplicação num setor tão relevante e peculiar como o dos transportes. A unidade curricular desenvolve-se no formato de aulas teóricas e práticas, com 2 horas semanais para cada tipologia, e corresponde a 6 ECTS.

Esta unidade curricular tem como principal objetivo o desenvolvimento de competências ao nível da vertente energético-ambiental do setor dos transportes. Por outro lado, visa diversos objetivos específicos, em que os estudantes, no final da unidade curricular, deverão:

1. Estar aptos a compreender a situação atual do setor dos transportes do ponto de vista energético e ambiental;
2. Identificar e saber utilizar as principais técnicas e metodologias, tanto numéricas como experimentais, de dados relacionados com desempenho e impactes do sistema de transportes, bem como as aplicações práticas destas ferramentas em problemas de engenharia;
3. Possuir competências sobre ferramentas de modelação de emissões de poluentes e consumos de combustível, de forma a saber aplicá-las em estudos de engenharia;
4. Possuir conhecimentos sobre problemas de mobilidade urbana, com o objetivo específico de identificar soluções para uma mobilidade sustentável do ponto de vista energético e ambiental;
5. Ter desenvolvidas competências no domínio da identificação, caracterização e potencialidades de aplicação de sistemas e serviços inteligentes de transportes (ITS);
6. Identificar as melhores potencialidades de aplicação de combustíveis alternativos e tecnologias alternativas de propulsão no setor dos transportes.

Na Convenção Nacional do Ensino Superior de 15 de março de 2019 (realizada na Universidade de Aveiro) referiu-se que as três dimensões do docente do séc. XXI (os três “Ms”) são: **M**otivar; **M**ediar; e, no final, **M**edir⁷. Além disso, a docente da unidade curricular defende que, na formação dos estudantes e futuros engenheiros, é necessário inculcar sempre uma observação assertiva, uma postura autónoma e o rigor na análise e discussão, para além de outras características. Assim, para além da aquisição de competências, pretende-se genericamente que o estudante interiorize e aplique os seguintes comportamentos e atitudes:

- Desenvolva capacidades de trabalho em equipa, de gestão de tempo e de saber comunicar de forma efetiva em público;
- Desenvolva o sentido de responsabilidade ética e deontológica;
- Desenvolva uma atitude pró-ativa na sua aprendizagem e desenvolvimento;
- Adquirir pensamento crítico e capacidade de decisão;
- Reflita e aprenda pelo contacto com pessoas com experiências e perspetivas diversas;
- Desenvolva o sentido de aprendizagem ao longo da vida.

Os objetivos estabelecidos para esta unidade curricular são coerentes com os seus conteúdos programáticos (descritos no capítulo seguinte), nomeadamente na identificação e compreensão das temáticas a abordar na unidade curricular ao nível dos sistemas de transportes e no conhecimento dos instrumentos metodológicos necessários que permitam estabelecer a ligação entre a teoria e a prática. Observa-se também uma interligação entre os conteúdos programáticos, os objetivos definidos e a bibliografia considerada.

⁷ In Comunicação de Paula Peres (Instituto Politécnico do Porto) na sessão “Inovação no Ensino e nas Ofertas Formativas”, Universidade de Aveiro, 2019.

2. Programa da unidade curricular

«Transportation systems is not rocket science - it is a lot harder»

Joseph Sussman (Professor de Transportes no MIT)

2.1. Estrutura geral do programa

Os pontos reforçados nos anteriores capítulos constituem os alicerces do programa que foi adotado e que, de seguida, se apresenta. Foi ainda referido que esta unidade curricular é frequentada por estudantes de mestrado oriundos de diversas áreas de formação ao nível do 1.º ciclo. Esta particularidade conduz a uma interessante heterogeneidade e vivências académicas e profissionais distintas, mas coloca à docente um desafio e uma exigência superior de forma a que todos os estudantes percecionem as matérias sem se perder o rigor científico dos conteúdos. Para além disso, este facto exige alguma flexibilidade na forma de lecionação, e obriga a um equilíbrio na seleção dos conteúdos e a seleção do desenvolvimento a dar a cada uma delas.

A presente unidade curricular é aqui apresentada como o resultado de um aperfeiçoamento anual com a adaptação, refinamento ou a introdução de novas metodologias de ensino e atualizações de temáticas, uma vez que as áreas de energia e transportes são multidisciplinares e estão em permanente mudança. Isto traz igualmente um desafio à docente de atualização permanente dos conteúdos digitais fornecidos aos estudantes, ao longo de todos os anos em que a unidade curricular foi lecionada. Por este motivo, a bibliografia base recomendada é composta prioritariamente por relatórios técnicos da Comissão Europeia, Agência Europeia do Ambiente (entre outras instituições), e não apenas por livros que versam sobre esta temática, uma vez que estes últimos não cobrem toda a matéria lecionada e poderão sofrer de alguma desatualização de conteúdos. Ainda assim, são sugeridos alguns livros complementares para cada bloco temático.

Por opção da autora, é dado um particular enfoque ao modo rodoviário, uma vez que é o principal responsável pelos desequilíbrios energético-ambientais do setor dos transportes e pelos problemas de congestionamento de tráfego. Ainda assim, os modos aéreo e ferroviário (respetivamente, o modo que consome mais energia – a seguir ao rodoviário – e o modo terrestre que se poderia perspetivar como alternativo ao rodoviário, tanto para transporte de passageiros como mercadorias) são focalizados, nomeadamente através do cálculo de consumos de energia e do relevo da sua importância e enquadramento na organização dos sistemas de transportes.

O programa da unidade curricular tem uma componente teórica e outra prática. O conteúdo programático da unidade curricular de “Energia, Mobilidade e Transportes” inclui vários blocos ou módulos, podendo, cada um deles, abranger uma ou várias aulas. No início de cada bloco programático é fornecida aos estudantes

uma lista da bibliografia recomendada (ver Capítulo 5 deste documento). A bibliografia aconselhada inclui relatórios, capítulos de livros e artigos científicos relevantes, que devem ser em número suficiente para permitir o contacto com diferentes abordagens, estratégias e opiniões. Não deve, no entanto, ser de tal modo extensa que iniba o estudante de procurar documentação.

Cada aula teórica tem a duração de cento e vinte minutos, sendo lecionada uma aula por semana e um total de quinze aulas teóricas por semestre, assumindo que cada semestre é constituído por quinze semanas letivas (total de leção de trinta horas). Com excepção da primeira aula teórica, cada uma das seguintes será iniciada com uma breve recapitulação da matéria abordada na última aula teórica ou com uma discussão interativa sobre uma questão formulada no final da aula anterior. No início de cada aula, serão expostos o sumário e os objetivos específicos a serem atingidos. O programa teórico foi dividido em seis “blocos” ou “módulos pedagógicos”, os quais são, por sua vez, divididos em tópicos.

Relativamente às aulas práticas, cada uma tem igualmente a duração de cento e vinte minutos, sendo lecionada uma aula por semana e um total de quinze aulas práticas por semestre, assumindo que normalmente cada semestre é constituído por quinze semanas letivas (total de leção de trinta horas). Com excepção da primeira, cada aula será iniciada com a apresentação da(s) tarefa(s) a ser(em) desenvolvida(s) na aula e a sua interligação com a matéria abordada na respetiva aula teórica. Mais uma vez, no início de cada aula, será apresentado o sumário e serão expostos os objetivos específicos a serem atingidos. Na componente prática cada “bloco” corresponderá a temas interdependentes de uma proposta prática do desenvolvimento de um projeto, exercícios de cálculo ou de uma atividade de discussão dos estudantes em grupo.

Por fim, existe uma aula de orientação tutorial por semana, com a duração de sessenta minutos, destinada especificamente para resolução de dúvidas dos estudantes e apoio no desenvolvimento do trabalho prático.

Descreve-se em seguida de uma forma sintética a estrutura do programa teórico:

A primeira parte do programa consiste num bloco introdutório e de apresentação / contextualização, mas necessário ao enquadramento dos estudantes sobre as temáticas a serem lecionadas e as especificidades do setor dos transportes e sua interdisciplinaridade com outros domínios científicos (nomeadamente, a energia). Pretende-se, ainda, que esta parte seja particularmente motivadora do interesse dos estudantes pela unidade curricular. Ao estudante deverão ser dadas informações sobre a especificidade e o âmbito dos assuntos que irão ser abordados. Introduzir-se-á uma visão dos problemas decorrentes do setor dos transportes, nomeadamente: os padrões de consumos energéticos globais e a influência do setor dos transportes; impactes ambientais da energia (dando particular relevância à problemática das alterações climáticas). Serão apresentadas estatísticas em diferentes escalas: Mundial, Europa e Portugal.

A segunda parte será dedicada à apresentação do diagnóstico do setor dos transportes, tanto no quadro global, como ao nível Europeu e, em particular, de Portugal. Abordar-se-á a evolução ao longo do tempo e do espaço das diferentes variáveis que traduzem a mobilidade de passageiros e mercadorias (tal como taxa de motorização, repartição modal, taxa de ocupação, entre outras). Em particular, serão analisados os aspetos que fizeram com que impactes ao nível local se transformassem em impactes globais. Após a apresentação da panorâmica atual, serão, ainda, apresentados e descritos os principais desafios que se

impõem atualmente ao setor dos transportes: 1) congestionamento e 2) energia e ambiente. Por fim, serão abordados os componentes externos do setor dos transportes, que fazem com que seja um setor difícil de controlar e gerir.

A terceira parte incluirá os principais aspetos da formação de poluentes em veículos rodoviários. Neste tópico os tipos de emissões de veículos equipados com motores a combustão interna serão sistematizados e será feita uma análise comparativa entre as emissões de um veículo com motor a gasolina e de um veículo com motor diesel, separadamente para cada poluente. Seguidamente, serão descritos os principais fenómenos de produção de poluentes. O tratamento destes gases ao nível do catalisador, filtro de partículas e da recirculação de gases de escape será igualmente abordado, através da explicação do funcionamento destes sistemas de controlo de emissões. Serão apresentados exemplos de mapas de emissões de motores. Por fim, será exemplificada, em diferentes contextos, a importância do estudo dos consumos e das emissões de poluentes de veículos rodoviários em projetos de engenharia, bem como as diferenças existentes entre as medições de emissões realizadas em laboratório (padrão) e as medições em estrada.

A quarta parte será dedicada à apresentação das principais metodologias de quantificação de impactos dos sistemas de transportes. Será dada particular atenção à quantificação de variáveis de tráfego urbano, consumos de combustível, emissões de poluentes e níveis de ruído. Seguir-se-á uma abordagem sumária dos principais sistemas de monitorização experimental e de alguns modelos numéricos utilizados na quantificação desses impactos, o que inclui a demonstração de diversos exemplos de aplicação. Finalmente, será apresentada a relevância da avaliação de ciclo de vida como metodologia fundamental de comparação entre diferentes alternativas de propulsão para o setor dos transportes, através da utilização de princípios da análise energética de sistemas.

Os últimos blocos (quinto e sexto) serão dedicados à reflexão sobre a importância da mudança nos sistemas de transportes, de forma a reduzir os impactos energético-ambientais. Serão abordados tópicos relacionados com: i) a importância da mudança comportamental; ii) o papel da tecnologia como um fator de evolução e mudança. Neste âmbito, no quinto bloco serão descritas questões essenciais no que se refere às medidas de mobilidade sustentável possíveis de serem implementadas, à utilização de sistemas e serviços inteligentes de transportes (“Intelligent Transportation Systems” – ITS) e à digitalização do setor. Os temas emergentes dos veículos conectados e autónomos, bem como da mobilidade partilhada, serão igualmente abordados. Por fim, serão comentadas as principais tecnologias existentes no Mercado ao nível dos combustíveis alternativos e veículos de propulsão alternativa (no sexto bloco).

Na lecionação da componente teórica utilizar-se-á, sempre que possível, o recurso a exemplos práticos, nomeadamente através da exibição de pequenos vídeos (da Agência Europeia do Ambiente, entre outras instituições) e da distribuição de elementos da comunicação social (por exemplo, notícias da imprensa escrita) sobre o setor dos transportes ou artigos científicos recentes que se afigurem relevantes para a compreensão da temática em causa.

A componente prática, como se referiu anteriormente, corresponderá ao desenvolvimento de um projeto prático, exercícios de cálculo e de atividades de discussão dos estudantes em grupos nas aulas. Considera-

se importante transmitir aos estudantes a ideia de que a palavra “prática” não indica uma mudança da matéria, mas sim uma mudança da sua atividade na sala de aula.

O desenvolvimento do projeto tem como principal objetivo que os estudantes possuam competências na quantificação de consumos e de emissões de veículos num determinado caso de estudo, à sua escolha. O tema poderá inserir-se numa de três áreas temáticas: 1) Estudo do impacte energético e ambiental de um percurso, através da comparação de diversos modos de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo, ou combinação entre eles); 2) Estudo do consumo de combustível e das emissões de uma frota; 3) Estudo da implementação de medidas de mobilidade sustentável numa determinada área. Pretende-se que os estudantes utilizem a metodologia “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – Exhaust emissions from road transport”⁸, para cálculo de consumos e emissões, nomeadamente através do modelo COPERT⁹ (desenvolvido pela Aristotle University Thessaloniki e modelo de referência para a Agência Europeia do Ambiente no que diz respeito à modelação de consumos e emissões de veículos rodoviários). Pretende-se que nas aulas dedicadas à aprendizagem da utilização deste modelo os estudantes testem a metodologia e os casos de estudo no seu próprio computador (ou em salas equipadas com computador), numa lógica de aula “hands-on”, de forma a haver uma maior interiorização da metodologia através da atividade prática.

Este trabalho prático pode ser estruturado em três fases. A primeira fase constará de trabalho de recolha de dados sobre o tema escolhido, com o inventário de parâmetros de entrada na metodologia, entre os quais se encontram: país; características dos combustíveis (gasolina, diesel e GPL); temperatura ambiente; extensão da viagem; características da frota a considerar; velocidade média dos veículos, por tipo de via; percentagem de circulação em cada tipo de via. A segunda fase compreende a compilação, o tratamento e o processamento de dados, a quantificação de consumos e emissões de poluentes com apoio computacional (nomeadamente, através do COPERT) e a análise dos resultados obtidos. Por fim, na terceira fase, será elaborado um relatório final com o trabalho desenvolvido. Este relatório será apresentado oralmente pelos vários grupos de trabalho (máximo de três estudantes por grupo) e discutido por toda a turma na última aula.

Em relação aos exercícios de cálculo, esta fase encontra-se intimamente relacionada com a terceira parte da componente teórica. Pretende-se que os estudantes interiorizem conceitos como mistura rica e mistura pobre, cálculo das emissões de dióxido de carbono por volume de combustível consumido, interpretação de mapas de emissões, interpretação do funcionamento do catalisador, entre outros.

Relativamente às atividades de discussão em grupo, pretende-se que os estudantes desenvolvam um tema em grupos de dois a três estudantes e que, por fim, o apresentem à turma. Pretende-se que os estudantes interiorizem os conceitos teóricos através da apresentação de estudos de caso e da discussão dos mesmos, através de uma interação dinâmica entre estudantes e docente. Uma vez que as competências comunicacionais de cada um podem ser trabalhadas e desenvolvidas, pretende-se igualmente que os estudantes treinem a

⁸ EEA (eds). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Exhaust emissions from road transport, European Environment Agency, 2016.

⁹ <http://www.emisia.com/copert/>

sua capacidade de comunicação em público, algo que é cada vez mais valorizado pelas empresas ou outros ambientes profissionais (traduzindo-se na participação em reuniões e/ou apresentações a diretores, colaboradores, clientes ou membros de um consórcio). Nestas aulas práticas desenvolver-se-ão fóruns de discussão sobre o Livro Branco dos Transportes, sobre as medidas de mobilidade sustentável implementadas em diversas cidades, bem como sobre as estratégias dos diferentes fabricantes ao nível da penetração no mercado de veículos de propulsão alternativa.

Como preparação para uma das atividades de discussão em grupo, os estudantes são estimulados pela docente a avaliar um desafio de mobilidade na cidade de Aveiro, que pode consistir na avaliação: 1) da mobilidade ciclável; 2) da oferta e da procura de transportes públicos; 3) dos conflitos rodoviários entre peões e ciclistas; 4) dos padrões de mobilidade dos funcionários/estudantes/docentes da Universidade de Aveiro; 5) da segurança de peões e de ciclistas; 6) de sistemas de partilha de bicicletas; 7) do transporte de mercadorias, incluindo o processo de cargas e descargas.

Compete à docente elaborar os sumários de cada aula, contendo a indicação da matéria lecionada com referência à bibliografia utilizada. Os sumários das aulas são obrigatoriamente disponibilizados no portal académico de apoio às unidades curriculares (PACO), de acordo com o calendário escolar e as respetivas normas de execução.

2.2. Desenvolvimentos dos Conteúdos programáticos

Os conteúdos programáticos são apresentados em três tipos de formato: I) Aulas teóricas; II) Aulas práticas; III) Palestras e/ou visitas de estudo; IV. Aulas de Orientação Tutorial.

I. AULAS TEÓRICAS

0. Enquadramento e âmbito

- Apresentação e uma visão de conjunto da unidade curricular de Energia, Mobilidade e Transportes.
- A importância e necessidade do estudo da energia nos transportes.
- Definição, objetivos gerais e campo de estudo de Energia, Mobilidade e Transportes.
- Métodos e normas de avaliação da unidade curricular.
- Bibliografia recomendada e fontes de informação de referência: materiais digitais, relatórios técnicos, livros, legislação aplicável, revistas científicas e sítios web de interesse.
- Apresentação da plataforma e-learning de interação e suporte à unidade curricular (*moodle*).

1. Introdução geral: de impactes locais a alterações globais

- Evolução da população mundial, sobreurbanização e impacte ao nível das necessidades energéticas.
- Consumo energético Mundial: comparação entre países desenvolvidos e países em vias de desenvolvimento; distribuição do consumo energético; evolução ao longo dos anos e futuras tendências.

- Consumo energético na Europa: distribuição do consumo energético de acordo com a fonte de energia primária e por setor de atividade; evolução ao longo dos anos e futuras tendências.
- Consumo energético em Portugal: distribuição do consumo energético por setor de atividade; evolução ao longo dos anos e futuras tendências.
- Impactes ambientais da energia: distinção entre impacte global (gases de efeito de estufa) e impacte local (poluentes atmosféricos).
- Alterações climáticas: gases de efeito de estufa (GEE) – identificação e evolução das concentrações de GEE na atmosfera. Potencial de aquecimento global. Consequências do aumento do efeito de estufa ao nível de padrões climáticos. GEE na Europa e em Portugal. Protocolo de Quioto. Metas pós-Quoto.

2. Diagnóstico do setor dos transportes

- Situação atual do setor dos transportes: Mundo, Europa e Portugal.
- Conceitos e estatísticas do setor dos transportes: atividade em termos de passageiros transportados (passageiro.km); atividade em termos de carga transportada (tonelada.km); taxa de motorização; número de quilómetros percorridos anualmente; repartição modal; taxa de ocupação; idade média do parque automóvel.
- Os desafios do setor dos transportes.
- Integração do sistema de transportes no ambiente urbano: o problema do congestionamento do tráfego urbano. Aumento da ocupação do solo pelas áreas urbanas. A influência da estrutura da cidade nas necessidades de mobilidade. Consequências do congestionamento.
- Desafio “energia e ambiente”: o impacte global do setor dos transportes. Evolução dos fatores de emissão de CO₂ nos veículos novos. Emissões de GEEs – contribuição do setor dos transportes e comparação entre diversos modos de transporte. Tendências, medidas de redução e mecanismos de mudança.
- Desafio “energia e ambiente”: o impacte local do setor dos transportes. Emissões de poluentes nocivos. A relevância da renovação do parque automóvel. Normas EURO de redução de emissões.

3. Formação de poluentes em veículos de combustão interna

- Introdução: descrição dos tipos de emissões. Comparação entre veículos com motor a gasolina e com motor Diesel.
- Normas Europeias de regulação de emissões (EURO).
- Mecanismo de formação de poluentes. Conceitos de mistura rica e de mistura pobre.
- Sistemas de controlo de poluentes: catalisadores, filtros de partículas e recirculação de gases de escape.
- Medição de emissões: comparação de resultados obtidos em testes de laboratório (padrão) vs. testes em estrada. O caso “Dieselgate”.

- Processos de fabrico utilizados na construção de componentes e estruturas dos veículos.
- Redução da massa e evolução na aerodinâmica dos veículos: influência no seu desempenho energético-ambiental.

4. Quantificação do impacte energético e ambiental dos transportes

- Monitorização experimental: tráfego, consumos de combustível, emissões, concentrações de poluentes e ruído.
- Modelação numérica: modelos de transportes, de tráfego, de consumo de combustível e emissões, de dispersão de poluentes e de ruído.
- Aplicação das metodologias a um caso de estudo: impacte energético-ambiental do pára-arranca em portagens, rotundas e semáforos.
- Conceito de Avaliação de Ciclo de Vida. Aplicação aos combustíveis e modos de propulsão alternativos e respetiva comparação com os combustíveis convencionais.

5. Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel da Mobilidade Sustentável

- Soluções para uma mobilidade sustentável: transporte público.
- Soluções para uma mobilidade sustentável: o papel dos modos suaves (andar a pé e de bicicleta) na mudança de paradigma de mobilidade.
- Soluções para uma mobilidade sustentável: sistemas de *car-sharing*; iniciativas de *car-pooling*; *park & ride*; sistemas de acalmia de tráfego; faixas de alta ocupação; organização da logística de cargas e descargas numa área urbana.
- Eco-condução: a mudança comportamental e as sinergias com as aplicações tecnológicas em veículos, para promoção de uma condução mais segura, sustentável e económica.
- O papel das políticas de estacionamento e da introdução de taxas (por exemplo, *congestion charging*) para controlo do sistema de transportes. Zonas de emissão reduzida. Zonas de tráfego limitado. Casos de aplicação.
- Planos de Mobilidade Sustentável.
- O Programa CIVITAS.
- Sistemas e serviços inteligentes de transportes (ITS): sistemas de informação de tráfego. Sistemas de informação para transportes públicos. Comunicação entre veículos (V2V) e veículo – infraestrutura de tráfego (V2I).
- A digitalização do setor dos transportes. Veículos conectados e autónomos.
- Mobilidade inteligente.
- O paradigma da mobilidade elétrica, autónoma e partilhada.
- MaaS (*Mobility as a service*)
- Exemplos de projetos de I&D em curso. Casos de aplicação.
- Conclusões. Oportunidades de intervenção.

6. Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão

- Introdução. Tipos de combustíveis e modos de propulsão alternativos. Tendências de penetração de veículos de propulsão alternativa no Mercado Automóvel Europeu.
- Gás de Petróleo Liquefeito (GPL): produção; vantagens; desvantagens; aplicações; potencialidades.
- Gás natural para veículos: produção; vantagens; desvantagens; aplicações; potencialidades. Exemplos de veículos.
- Veículos híbridos: vantagens; desvantagens; potencialidades; modo de funcionamento da tecnologia híbrida; híbridos *plug-in*. Exemplos de veículos.
- Veículos elétricos: a sua evolução, desde os protótipos até à penetração no Mercado automóvel; vantagens; desvantagens; potencialidades; a infraestrutura do futuro para veículos elétricos; a importância da eletricidade proveniente de fontes renováveis. Exemplos de veículos.
- Hidrogénio: produção; vantagens; desvantagens; aplicações; potencialidades. Funcionamento de pilhas de combustível. Tipos de pilhas de combustível. Os principais desafios ao nível da produção, transporte, armazenamento e utilização em veículos. Projetos de I&D com veículos a hidrogénio. Exemplos de veículos. Economia do hidrogénio e perspetivas para o futuro.
- Biocombustíveis: tipos; produção; vantagens; desvantagens; aplicações; potencialidades. O biodiesel a partir de microalgas em comparação com o biodiesel proveniente de culturas convencionais. A potencialidade do bioetanol celulósico comparativamente ao bioetanol proveniente do milho ou da cana de açúcar. Metas Europeias para utilização de biocombustíveis e capacidade de produção na Europa e em Portugal. Os principais desafios para a utilização de biocombustíveis. Os veículos *flex-fuel*.
- A relevância da Avaliação de Ciclo de Vida como ferramenta de suporte à análise de viabilidade energético-ambiental de tecnologias alternativas para veículos.
- Conclusões. Fatores determinantes para o carro do futuro. A importância do apoio político. Desafios e oportunidades. A importância da integração de soluções, tanto ao nível comportamental como do ponto de vista tecnológico.

II. AULAS PRÁTICAS

Cada atividade de índole prática poderá ocupar uma ou várias aulas. Sempre que possível, os temas de carácter mais prático acompanharão os assuntos programáticos teóricos.

1. Desenvolvimento do projeto prático

- Apresentação do projeto: Objetivos. Descrição da metodologia. Estrutura do relatório.

- O modelo COPERT 4: quantificação de consumos e de emissões de veículos rodoviários. Dados de entrada. Resultados. Aula “hands-on”.
- A metodologia “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013”: aplicação para o modo aéreo e ferroviário. Aula “hands-on”.
- Trabalho de grupo: recolha de dados sobre o tema escolhido, com inventariação de parâmetros de entrada na metodologia. Aula “hands-on”.
- Trabalho de grupo: compilação/tratamento/processamento de dados, quantificação de consumos e emissões de poluentes e análise dos resultados obtidos. Aula “hands-on”.
- Trabalho em grupo: síntese crítica. Redação do relatório final.
- Apresentação oral do projeto desenvolvido.

2. Tecnologia de veículos rodoviários – Exercícios de cálculo e demonstrações:

- Motores a gasolina: ciclo Otto; aplicação de conceitos de termodinâmica.
- Motores diesel: ciclo Diesel; aplicação de conceitos de termodinâmica.
- Mecanismo de formação de poluentes. Conceitos de mistura estequiométrica, rica e pobre.
- Cálculo de emissões de dióxido de carbono por quantidade de combustível consumido.
- Cálculo de emissões de diversos poluentes com uma metodologia numérica que relaciona a dinâmica do veículo com o seu desempenho energético-ambiental.
- Interpretação de mapas de emissões de motores.
- Sistemas de controlo de poluentes: interpretação do funcionamento de catalisadores.
- Demonstração do funcionamento de um equipamento portátil de medição de emissões de poluentes (*PEMS – Portable Emissions Monitoring System*) (Figura 5).

3. Discussão, em grupo, de temas relacionadas com os blocos temáticos lecionados nas aulas teóricas, nomeadamente:

- Discussão das medidas-chave preconizadas no Livro Branco dos Transportes;
- Analisar medidas de mobilidade sustentável implementadas em cidades nacionais e internacionais, tendo em conta as suas características próprias;
- Avaliação da estratégia ao nível da penetração dos veículos de propulsão alternativa no Mercado automóvel, para cada fabricante.

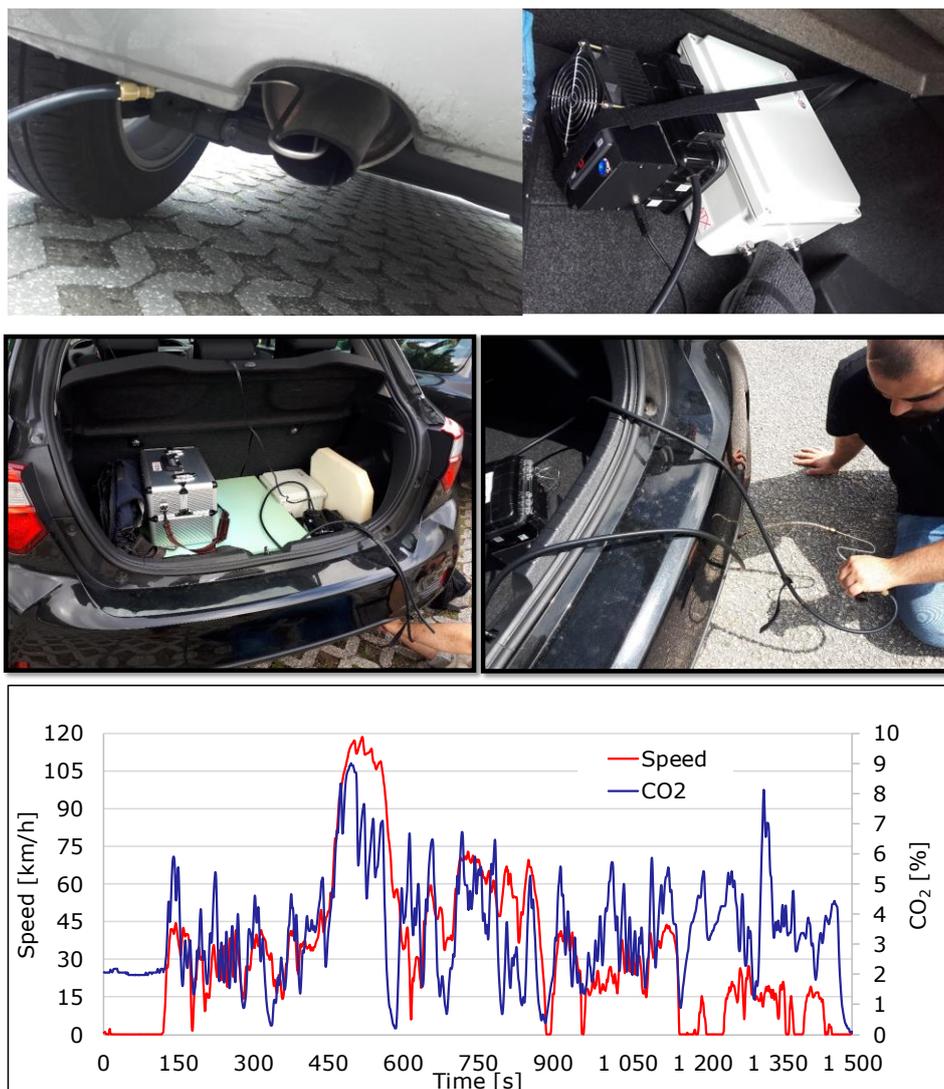


Figura 5: Demonstração de equipamento portátil de medição de emissões

III. Palestras e/ou visitas de estudo

Durante o semestre decorrem diversas palestras ou seminários proferidos por especialistas ou investigadores na área dos sistemas e tecnologias de transportes. Já participaram nestas sessões oradores da própria UA, da empresa Toyota Salvador Caetano, da North Carolina State University (NCSU), da Technical University of Delft (TUDelft) e da Universidade de Salerno (ver Figuras 6 e 7) – esta última participação decorreu no âmbito de uma missão de mobilidade ERASMUS+. Estas sessões poderão ocorrer de forma presencial ou por videoconferência e são calendarizadas para o horário das aulas, de acordo com a disponibilidade dos intervenientes.

Trata-se de uma oportunidade privilegiada de implementar a relação entre a investigação e o ensino-aprendizagem em resposta ao desafio societal “transportes inteligentes, ecológicos e integrados”, a internacionalização em sala de aula (através da presença de especialistas e da partilha de resultados de projetos internacionais), a utilização de tecnologias de informação e de comunicação, bem como o fomento

da aproximação entre o mundo empresarial da Região de Aveiro e a UA. Uma vez que as temáticas da própria unidade curricular são interdisciplinares há uma predisposição natural para a integração de resultados e práticas internacionais de investigação no curriculum dos estudantes. Assim, o objetivo final desta abordagem consiste em incentivar a reflexão crítica e o espírito científico nos diferentes temas abordados, através da articulação entre os conteúdos temáticos da unidade curricular e as efetivas competências científicas da docente e dos seus convidados. Pretende-se com estas atividades efetivar uma postura coerente no conjunto das atividades ensino-investigação.

a)



b)



c)



Figura 6: Palestras com a participação do orador a) por videoconferência; b) presencialmente no DEM; c) com a demonstração de viaturas híbridas.

a)



b)

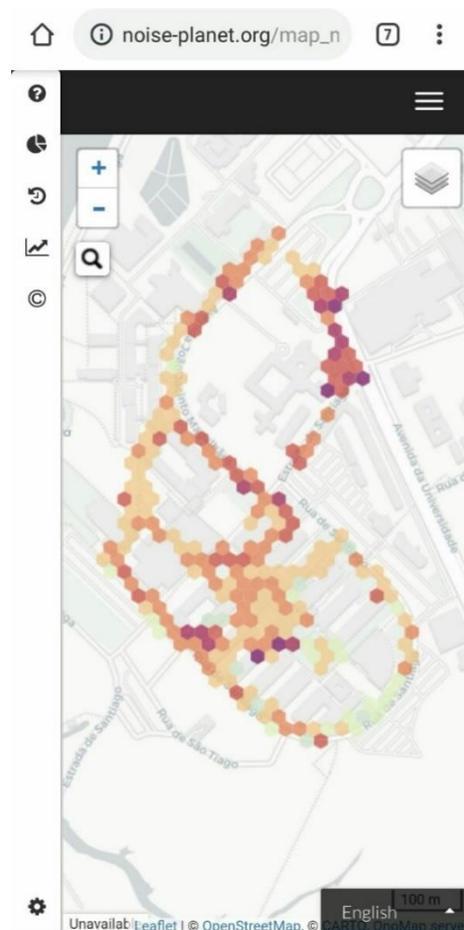


Figura 7: Missão mobilidade ERASMUS+ do Prof. Claudio Guarnaccia numa das aulas de Energia, Mobilidade e Transportes: a) aula teórica - lecionação de conceitos de ruído; b) aula prática - monitorização experimental dos níveis de ruído no campus da UA através da app NoiseCapture (desenvolvida pelo IFSTTAR Nantes).

Quando se afigura possível e adequado promovem-se igualmente visitas de campo a empresas do setor dos transportes.

IV. Aulas de Orientação Tutorial

Nestas aulas pretende-se que os estudantes tragam dúvidas sobre a matéria teórica ou componente prática, nomeadamente no que diz respeito ao avanço no projeto prático.

No Quadro 1 resume-se a bibliografia e materiais de apoio desenvolvidos pela docente que se recomendam para cada bloco (tendo em conta a lista apresentada no final deste documento), enquanto que no Quadro 2 é apresentada uma proposta de calendarização das aulas teóricas e práticas, com a respetiva distribuição dos conteúdos programáticos.

Quadro 1: Bibliografia e material digital (slides) por bloco temático

Bloco temático	Aulas teóricas	Aulas práticas
0 – Enquadramento e âmbito	Guião da unidade curricular; Coelho (2019a, 2019b)	Guião da unidade curricular; Coelho (2019a, 2019b); Gkatzoflias et al. (2012).
1 – Introdução geral	Coelho (2019a); EEA (2016a, 2017b); EU (2017); Schafer et al. (2009); Coley (2008); Hensher e Button (2003); Kutz (2008); Seitz e Hite (2012); Sorensen (2010).	Coelho (2019b); EEA (2013); Gkatzoflias et al. (2012).
2 – Diagnóstico do setor dos transportes	Coelho (2019a); EEA (2016a, 2017a, 2017b, 2018, 2020); EU (2017); Schafer et al. (2009); Coley (2008); Hensher e Button (2003); Kutz (2008); Estatísticas da Associação de Comércio Automóvel de Portugal, Direção Geral de Energia e Geologia, Instituto de Mobilidade e dos Transportes, I.P, Instituto de Seguros de Portugal	Coelho (2019a, 2019b); EC (2011).
3 – Tecnologia dos transportes rodoviários	Coelho (2019a); Bosch (2011); De Nevers (1999); Heywood (1989); Martins (2013)	Coelho (2019a).
4 – Quantificação do impacto energético e ambiental dos transportes	Coelho (2019a); De Nevers (1999); EEA (2016a); EEA (2018); Ferrão (2009); Gudmundsson et al. (2015); Hensher e Button (2003); Kutz (2008); Ortúzar e Willumsen (2011)	Coelho (2019a); EEA (2013); Gkatzoflias et al. (2012).
5 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel da Mobilidade Sustentável	Coelho (2019a); EEA (2020); Hensher e Button (2003); van Nunen et al. (2013)	Coelho (2019a); Sítios web sobre mobilidade sustentável e sistemas inteligentes de transportes.
6 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão	Coelho (2019a); EEA (2016b); EEA (2018); Schafer et al. (2009); Busse et al. (2013); NRC (2012); NRC (2013); Hensher e Button (2003); Kemp (2007); Kutz (2008); Stolten (2010)	Coelho (2019a); Sítios web dos principais fabricantes de automóveis

Quadro 2: Calendarização das aulas teóricas e práticas

Semana	Bloco temático	Aulas teóricas	Aulas práticas
1	0 – Enquadramento e âmbito.	Apresentação da unidade curricular. A importância e necessidade do estudo da energia nos transportes. Métodos e normas de avaliação da unidade curricular. Bibliografia recomendada. Apresentação da plataforma e-learning de interação e suporte à unidade curricular (<i>moodle</i>).	Motivação para a unidade curricular. Apresentação de casos de estudo.
2	1 – Introdução geral	Evolução da população mundial, consumo energético Mundial, consumo energético na Europa, consumo energético em Portugal. Papel do setor dos transportes. Impactes ambientais da energia. Alterações Climáticas. Protocolo de Quioto. GEE na Europa e em Portugal: Realidade e metas de Quioto. Metas pós-Quoto.	Apresentação dos objetivos e estrutura do trabalho prático. Apresentação do modelo COPERT 4: cálculo de consumos de energia e emissões de poluentes. Aula “hands-on”.
3	2 – Diagnóstico do setor dos transportes	Situação atual do setor dos transportes: Mundo, Europa e Portugal. Conceitos e estatísticas do setor dos transportes. Grandes desafios no setor dos transportes: Congestionamento; Energia e Ambiente.	Apresentação dos objetivos e estrutura do trabalho prático (cont.). Modelo COPERT 4: cálculo de consumos de energia e emissões de poluentes (conclusão). Metodologia para cálculo de consumos e emissões em comboios e aviões. Aula “hands-on”.
4	2 – Diagnóstico do setor dos transportes (conclusão)	O problema do congestionamento do tráfego urbano e suas consequências. Desafio Energia e Ambiente: o impacto global do setor dos transportes. Desafio Energia e Ambiente: o impacto local do setor dos transportes. Tendências, medidas de redução e mecanismos de mudança.	O Livro Branco dos Transportes: principais medidas para 2050 - Desenvolvimento de atividade em grupo.
5	3 – Formação de poluentes em veículos de combustão interna	Descrição dos tipos de emissões. Comparação entre veículos com motor a gasolina e com motor Diesel. Normas Europeias de regulação de emissões (EURO). Mecanismo de formação de poluentes. Sistemas de controlo de poluentes. Medição de emissões: comparação de resultados obtidos em testes de laboratório (padrão) vs. testes em estrada. Processos de fabrico utilizados na construção de componentes e estruturas dos veículos. Redução da massa e evolução na aerodinâmica dos veículos: influência no seu desempenho energético-ambiental.	Exercícios práticos de cálculo. Demonstração de medição de emissões de poluentes a bordo de um veículo.
6	4 – Quantificação do impacto energético e ambiental dos transportes	Monitorização experimental de tráfego, consumos, emissões, concentrações de poluentes e ruído. Modelação numérica: modelos de transportes, modelos de consumo de combustível e emissões, modelos de dispersão de poluentes e modelos de ruído.	Desenvolvimento do trabalho prático – Inventário e pesquisa de dados. Aula “hands-on”.
7	4 – Quantificação do impacto energético e ambiental dos transportes (conclusão)	Aplicação das metodologias a um caso de estudo: Impacte energético-ambiental do pára-arranca em portagens, rotundas e semáforos. Conceito de Avaliação de Ciclo de Vida.	Palestras sobre projetos de I&D na área dos sistemas e tecnologias de transportes.
8	5 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel da Mobilidade Sustentável	Apresentação de soluções para uma Mobilidade Sustentável. Transporte público. O papel dos modos suaves. Sistemas de <i>car-sharing</i> . Iniciativas de <i>car-pooling</i> . <i>Park & ride</i> . Sistemas de acalmia de tráfego. Faixas de alta ocupação. Organização da logística de cargas e descargas numa área urbana.	Atividade de discussão em grupo: implementação de medidas de mobilidade sustentável em diversas cidades.

9	5 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel da Mobilidade Sustentável.	Eco-condução. O papel das políticas de estacionamento e da introdução de taxas para controlo do sistema de transportes. Zonas de emissão reduzida. Zonas de tráfego limitado. Planos de mobilidade sustentável. O Programa CIVITAS.	Aula “hands-on” Desenvolvimento do trabalho prático – Inventário e pesquisa de dados; Cálculo de consumos e emissões.
10	5 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel da Mobilidade Sustentável (conclusão).	Sistemas e serviços inteligentes de transportes (ITS). Comunicação entre veículos (V2V) e veículo – infraestrutura de tráfego (V2I). A digitalização do setor dos transportes. Veículos conectados e autónomos. Mobilidade inteligente. O paradigma da mobilidade elétrica, autónoma e partilhada. MaaS (Mobility as a service). Exemplos de projetos de I&D em curso. Conclusões. Oportunidades de intervenção.	Aula “hands-on” Desenvolvimento do trabalho prático – Cálculo de consumos e emissões.
11	6 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão	Introdução. Tipos de combustíveis e modos de propulsão alternativos. Tendências de penetração de veículos de propulsão alternativa no Mercado Automóvel Europeu. Gás de Petróleo Liquefeito (GPL). Gás Natural. Vantagens, desvantagens, aplicações e potencialidades.	Atividade de discussão em grupo: estratégias ao nível de Mercado para os veículos de propulsão alternativa.
12	6 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão	Veículos híbridos. Veículos elétricos. Modo de funcionamento da tecnologia híbrida e elétrica. Veículos híbridos <i>plug-in</i> . Vantagens, desvantagens, aplicações e potencialidades de cada uma das tecnologias apresentadas.	Aula “hands-on” Desenvolvimento do trabalho prático – Tratamento de dados.
13	6 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão	Hidrogénio. Funcionamento de pilhas de combustível. Economia do hidrogénio, desafios e perspetivas para o futuro. Vantagens, desvantagens, aplicações e potencialidades.	Palestras sobre projetos de I&D na área dos sistemas e tecnologias de transportes.
14	6 – Oportunidades de mudança e inovação no setor dos transportes – O papel das novas tecnologias de propulsão (conclusão)	Biocombustíveis: Tipos; Produção; Vantagens, desvantagens, aplicações e potencialidades do biodiesel e do bioetanol; Metas para utilização de biocombustíveis. A relevância da Avaliação de Ciclo de Vida como ferramenta de suporte à análise de viabilidade energético-ambiental de tecnologias alternativas para veículos. Fatores determinantes para o carro do futuro. Desafios e oportunidades. Conclusões.	Aula “hands-on” Desenvolvimento do trabalho prático – Tratamento de dados. Discussão dos resultados.
15	Avaliação	Avaliação teórica (Teste)	Apresentação oral dos trabalhos práticos. Período de discussão.

3. A INVESTIGAÇÃO NO ENSINO-APRENDIZAGEM EM RESPOSTA AO DESAFIO SOCIETAL DA MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES

Do ponto de vista do ensino de engenharia, o setor da energia nos transportes constitui uma área de estudo cativante, com todas as inovações e mudança de paradigma que o setor está a atravessar. Assim, o papel dos docentes e investigadores especialistas neste domínio torna-se essencial para a formação da próxima geração de profissionais.

A investigação que a docente tem vindo a realizar e orientar na Universidade de Aveiro desde 2005 faz parte deste contexto, uma vez que incide na caracterização dos impactes dos veículos rodoviários (em particular, ao nível do congestionamento, consumo de combustível e emissões de poluentes e sugere cenários e soluções de mobilidade inteligente e sustentável).

Assim, neste Capítulo apresentar-se-ão alguns resultados obtidos na investigação coordenada pela docente, que ilustram os desafios ao nível da avaliação de impactes decorrentes da implementação de paradigmas transformadores (e fascinantes!) nos três vetores essenciais sobre os quais assenta a mobilidade: 1) infraestrutura; 2) condutor; 3) veículo. Apresentar-se-á a análise multicritério como ferramenta relevante de avaliação integrada de vários impactes de tráfego (desempenho de tráfego, emissões de diferentes poluentes - não só o CO₂, enquanto gás de efeito de estufa e que é o indicador de consumo energético, mas também poluentes locais, nocivos para a saúde – segurança rodoviária e ruído). É de salientar que os resultados de emissões apresentados se referem aos gases poluentes emitidos diretamente pelo tubo de escape dos veículos com motores térmicos. Para mais informações sobre os resultados destes casos de estudo deve-se consultar os artigos publicados em revistas científicas internacionais que se enumeram (Bandeira et al., 2018; Coelho et al., 2009, 2014; Fernandes et al., 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b; Fontes et al., 2014; Tomás et al., 2019).

Os trabalhos aqui apresentados inserem-se prioritariamente no âmbito de quatro projetos de investigação. Em primeiro lugar, o projeto FCT “SMARTDECISION: Sistema Inteligente de Suporte à Decisão de Percursos para uma Melhor Qualidade do Ar em Áreas Urbanas” (PTDC/SEN-TRA/115117/2009), no qual se desenvolveu um intensivo trabalho de investigação sobre a melhor opção de roteamento com critérios energético-ambientais para diversos tipos de via (urbana, estradas nacionais ou autoestradas). Posteriormente, o projeto FCT “@CRUISE - Plataforma de Comunicação Veículo-Infraestrutura para Integração de Impactes de Tráfego” (PTDC/EMS-TRA/0383/2014)” teve como objetivo fundamental a integração dos impactes do tráfego rodoviário numa plataforma analítica ou indicador único para utilização em sistemas avançados de gestão de tráfego (ATMS). Em terceiro lugar, o Projeto do Programa de Ações Conjuntas “MobiWise: da sensorização móvel à recomendação de mobilidade” para o qual se pretende construir uma plataforma 5G que incorpore uma infraestrutura de acesso e uma plataforma de serviços de suporte à implantação da Internet das Coisas numa cidade inteligente, com sensores, pessoas e veículos, com

o objetivo de melhorar a mobilidade urbana. Finalmente, o projeto FCT “DICA-VE: Informação para a Condução num Ambiente de Veículos Conectados e Autónomos: Impactes na Segurança e nas Emissões”, em que se pretende desenvolver uma investigação integrada focada em algoritmos avançados para reduzir a volatilidade do comportamento de condução através de advertências de segurança e reduções de emissões e em que é dada especial atenção à interação dos veículos motorizados com os utentes vulneráveis da via (peões e ciclistas).

3.1. Impactes decorrentes da implementação de paradigmas transformadores na infraestrutura viária: o papel da inovação em rotundas na acalmia de tráfego

Pretende-se nesta secção da aula apresentar aos estudantes os impactes nas emissões de poluentes de veículos que circulam em turborotundas isoladas, de corredores de turborotundas e, finalmente, de sistemas inovadores de semaforização nas vias de entrada em rotundas.

O conceito inovador de turborotunda foi desenvolvido como alternativa às rotundas convencionais para aumentar a segurança dos condutores, através da diminuição dos conflitos existentes nas manobras de mudança de via. As primeiras turborotundas foram construídas nos Países Baixos em 2000. Nesta nova configuração os condutores são obrigados a escolher, antes de entrar na rotunda, a via de entrada adequada para o destino pretendido, uma vez que existe um separador físico, intransponível, entre as vias de circulação (Figura 8). É importante perceber o desempenho real da turborotunda, nomeadamente os potenciais benefícios em termos de emissões veiculares.

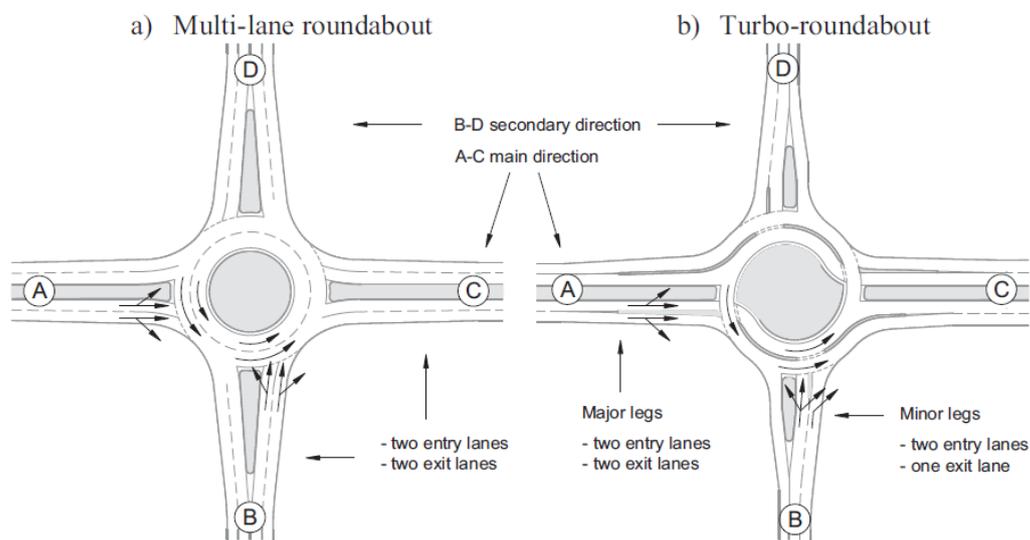


Figura 8: Comparação entre uma rotunda convencional e uma turborotunda (Fernandes et al., 2016)

Em Fernandes et al. (2016) avaliou-se o impacto de turborotundas isoladas em áreas urbanas no desempenho de tráfego e nas emissões de poluentes através de medições experimentais da atividade do veículo e dos níveis de congestionamento da via, enquanto que em Fernandes et al. (2018) expandiu-se a análise para corredores de turborotundas. Utilizaram-se ferramentas de modelação, calibradas por medições experimentais, e foram desenvolvidos modelos discretos para perfis de velocidade em turborotundas e

rotundas multi-vias (a ocorrência relativa desses perfis de velocidade é expressa em função da entrada e dos fluxos de tráfego conflitantes). O modelo VISSIM e a potência específica do veículo (VSP) – descritas no Capítulo 2 - foram as metodologias microscópicas utilizadas para estimar o desempenho dos veículos e as emissões de poluentes segundo a segundo, respetivamente. As emissões são influenciadas pelas características dos perfis de velocidade em cada movimento, pelos volumes de entrada e fluxos conflitantes, pelo nível geral de saturação e pelas características geométricas e operacionais da turborotunda (ou do corredor). Para o caso da turborotunda isolada concluiu-se que os veículos geraram mais emissões (15–22%, dependendo do poluente) quando comparado com uma rotunda convencional, especialmente em situação de elevados níveis de congestionamento, o que sugere que não há vantagens na implementação de turborotundas do ponto de vista energético-ambiental (Figura 9). Ao avaliar a situação em corredores identificaram-se os locais com maior grau de emissões (*hotspots*), que constituem os segmentos localizados a jusante da turborotunda (com mais de 30% das emissões totais). O papel do espaçamento entre rotundas num corredor afigura-se relevante, uma vez que uma alteração de 180 para 240 metros poderá conduzir a uma redução nas emissões de 4% a 11%, dependendo do poluente (Figura 10).

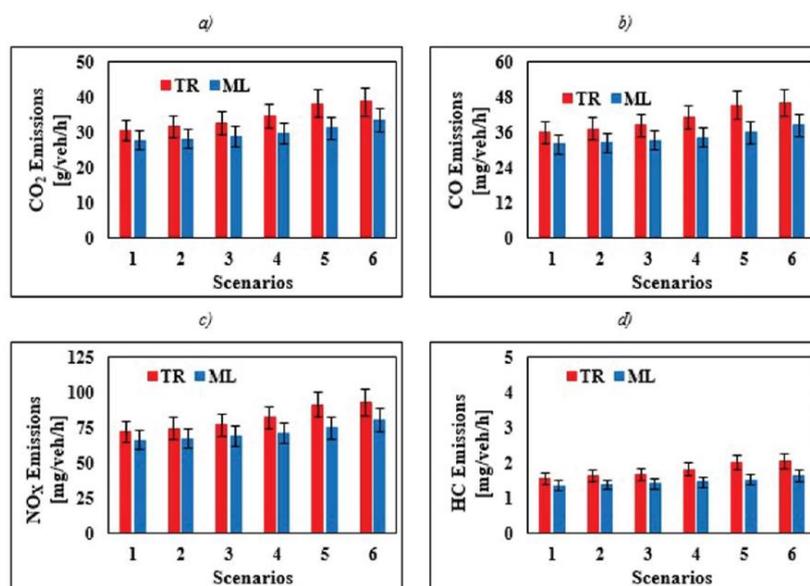


Figura 9: Variação das emissões horárias por veículo para diferentes cenários de tráfego: a) CO₂, b) CO, c) NO_x e d) HC numa turborotunda (TR) e numa rotunda convencional multi-via (ML) (Fernandes et al., 2016)

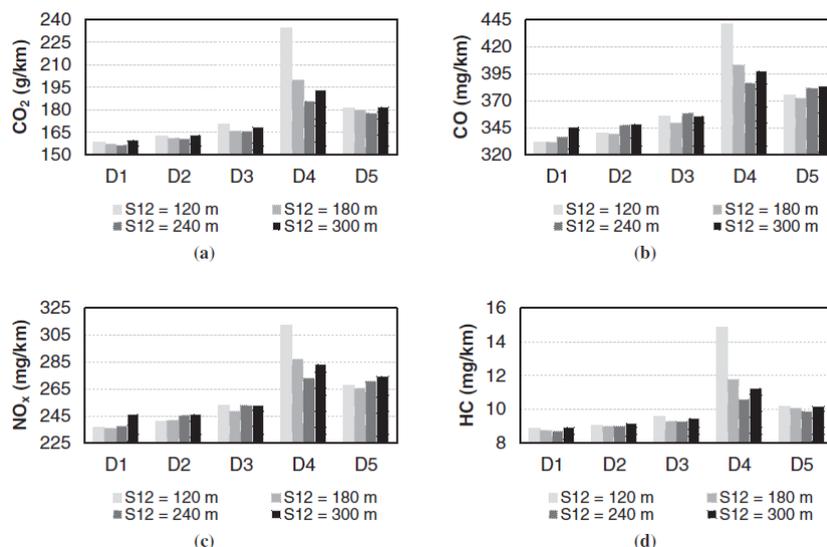


Figura 10: Emissões por quilómetro para diferentes cenários de procura e espaçamento: (a) CO₂; (b) CO; (c) NO_x e (d) HC (S12 = espaçamento entre as turbotorundas) (Fernandes et al., 2018)

Finalmente, apresenta-se uma avaliação multicritério em corredores de rotundas, de forma a ponderar de forma integrada os impactos da implementação de um sistema de semaforização parcial (à entrada de uma rotunda de acesso a um pólo de atração de viagens, como um centro comercial) no desempenho do tráfego, emissões de poluentes e de ruído (Figura 11). O benefício da implementação dessa semaforização parcial pode atingir 13% de redução de custos ambientais.

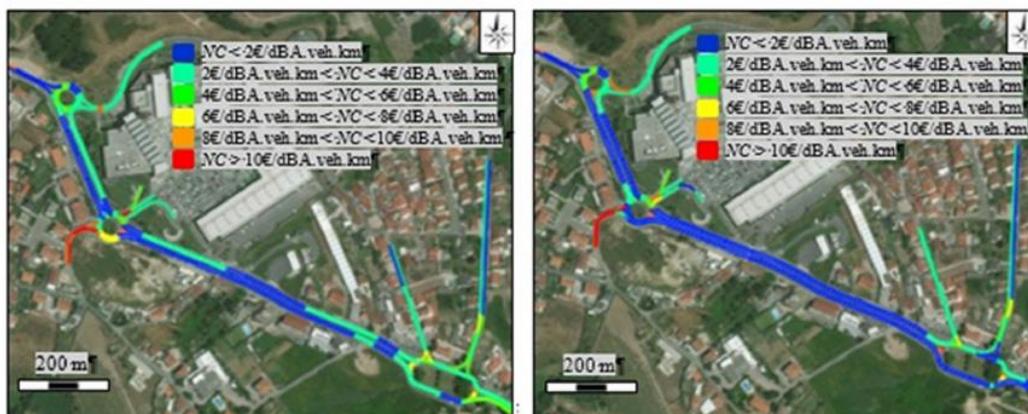


Figura 11: Comparação dos custos totais (tráfego, emissões e ruído) em corredores de rotundas sem e com semaforização parcial através de análise multicritério (Fernandes et al., 2018)

3.2. Impactes decorrentes da implementação de paradigmas transformadores no comportamento do condutor: o papel do eco-roteamento

Em Bandeira et al. (2018) analisaram-se os impactes de um sistema de ecorroteamento sobre as emissões num corredor interurbano. As variações no tempo de viagem do sistema em cada estratégia de ecorroteamento foram igualmente avaliadas. A metodologia consistiu em três fases distintas: primeiro, calibrou-se uma plataforma de microssimulação de tráfego e de emissões com dados empíricos; em segundo lugar, as funções

entre volume de tráfego e emissões foram desenvolvidas; finalmente, diferentes cenários de otimização do fluxo de tráfego foram testados com base num procedimento de atribuição simplificado. A Figura 12 representa a distribuição do tráfego tendo em conta diferentes critérios de escolha (tempo de viagem e emissões de poluentes distintos). Os resultados mostram que, se a atribuição de tráfego for realizada com o objetivo de minimizar os impactes gerais, os custos relativos a danos ambientais no sistema podem ser reduzidos até 9%. No entanto, se os condutores são aconselhados individualmente sobre a melhor rota de minimização de emissões, as emissões totais do sistema podem ser superiores. Assim, conclui-se que algoritmos de econavegação focados em objetivos exclusivamente individuais tendem a desviar o tráfego para estradas com menor capacidade, o que afeta o desempenho do tráfego restante. Este estudo de caso trouxe uma nova visão sobre as dificuldades e potencialidades da implementação de tais sistemas.

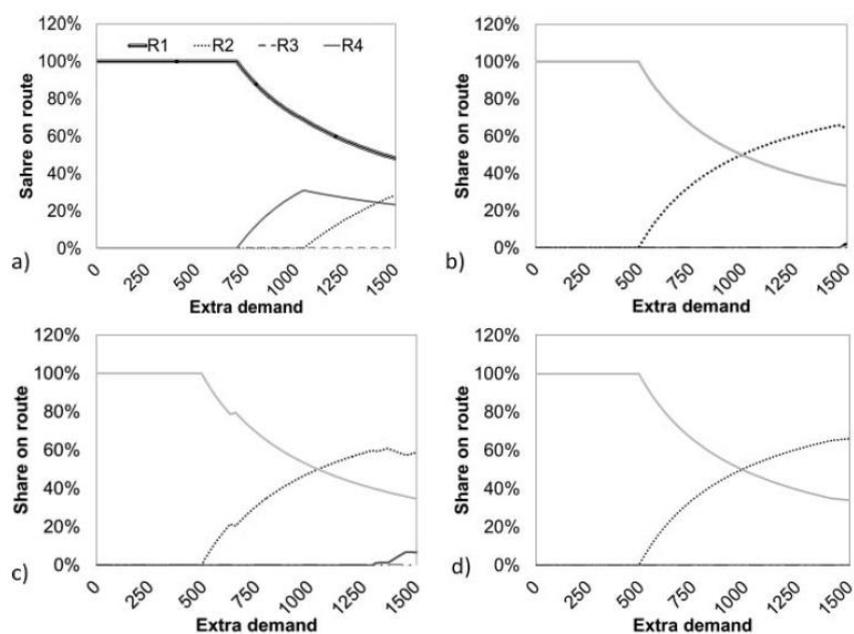


Figura 12: Distribuição do fluxo de tráfego sob diferentes critérios: a) tempo de viagem; b) emissões de CO₂; c) emissões de NO_x; d) custos dos danos ambientais (Bandeira et al., 2018).

De facto, são necessárias medidas inovadoras de gestão de tráfego para reduzir as emissões de poluentes. A gestão da infraestrutura rodoviária tem-se concentrado principalmente na introdução de faixas de rodagem adicionais, mas existem opções como a conversão para vias de elevada ocupação (*High Occupancy Vehicles* - HOV) e *eco-lanes* (vias exclusivas para veículos movidos a combustíveis alternativos), que condicionam a atitude do condutor no ambiente rodoviário. Esta foi a principal motivação que levou à publicação de um artigo relacionado com esta temática (Fontes et al., 2014). Os objetivos desta investigação consistiram no desenvolvimento de uma plataforma de modelação microscópica integrada (tráfego e emissões), calibrada com dados empíricos para avaliar os impactes no tráfego e nas emissões decorrentes da implementação de estratégias de gestão de tráfego numa área urbana, bem como em avaliar a introdução de HOV e *eco-lanes* em três tipos de vias (autoestradas, estradas nacionais e urbanas). A metodologia consistiu em três fases distintas: primeiro, numa aquisição de dados de tráfego e inventário das estradas em estudo; seguiu-se a modelação microscópica de tráfego e emissões; finalmente, avaliaram-se

diversos cenários, relacionados com a taxa de ocupação dos veículos e com a penetração de veículos elétricos e híbridos. A Figura 13 representa alguns dos resultados que mostraram a viabilidade da implementação de HOV e *eco-lanes*. Quando a taxa média de ocupação dos veículos aumenta nas autoestradas, o tempo de viagem pode diminuir 2% e ocorre igualmente uma redução nas emissões (-38% para NO_x, -39% para HC, -43% para CO e -37% para CO₂). Nas vias urbanas e estradas nacionais a redução nas emissões só pode ser alcançada se a taxa média de ocupação aumentar de 1.5 para 1.7 passageiros/veículo (para este último valor, as emissões podem diminuir até 35-36% na rota urbana e em 36–39% na estrada nacional).

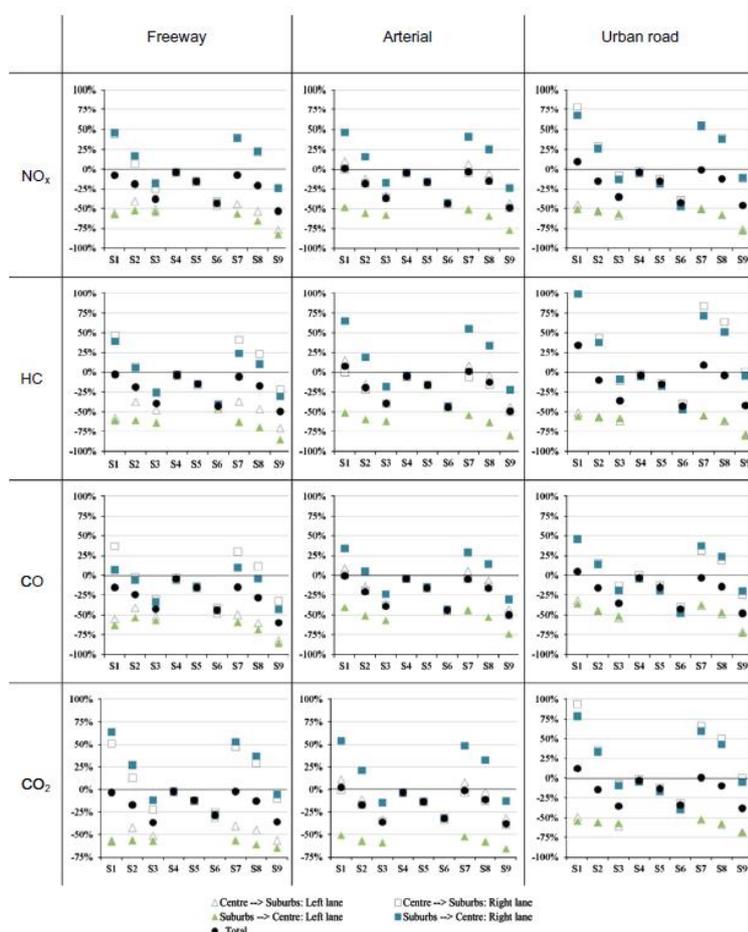


Figura 13: Comparação entre as emissões de NO_x, HC, CO e CO₂ para cenários com utilização de vias de alta ocupação / *ecolanes* e o cenário de referência (Fontes et al., 2014)

Em suma, através da apresentação destes casos de estudo, torna-se possível transmitir aos estudantes a relação entre o comportamento do condutor na escolha de rota e as emissões de poluentes. De seguida, apresenta-se a articulação dos resultados dos modelos de tráfego e de emissões com ferramentas de modelação da qualidade do ar (Coelho et al., 2014; Fernandes et al., 2019b). A precisão dos modelos de qualidade do ar costuma estar associada aos inventários de emissões. Os resultados sugerem que podem obter-se várias melhorias na quantificação das concentrações de poluentes com a combinação de métodos *top-down* e *bottom-up* para a estimativa das emissões. É relevante enfatizar que a avaliação do compromisso (*trade-off*) na minimização de diferentes indicadores é da maior importância; existe um conflito óbvio entre a minimização dos custos ambientais e a população exposta às externalidades do tráfego local, o que

poderá influenciar políticas de transportes tendo em vista a energia e o ambiente. Neste sentido finaliza-se esta secção com um exemplo em que se conjuga diferentes impactes do tráfego rodoviário num eco-indicador único (Figura 14). Pretende-se traduzir os impactes através de um fator de custo que pode ser aplicado diretamente em algoritmos de roteamento ecológico e/ou em sistemas inteligentes de tarifação viária. Este indicador de sustentabilidade foi testado em vários tipos de vias, com características heterogêneas, durante os períodos de ponta e de vazio. Os resultados alcançados neste trabalho destacam a importância de se considerar a vulnerabilidade da exposição das pessoas aos impactes quando se decide implementar medidas de gestão de tráfego (Fernandes et al., 2019b).

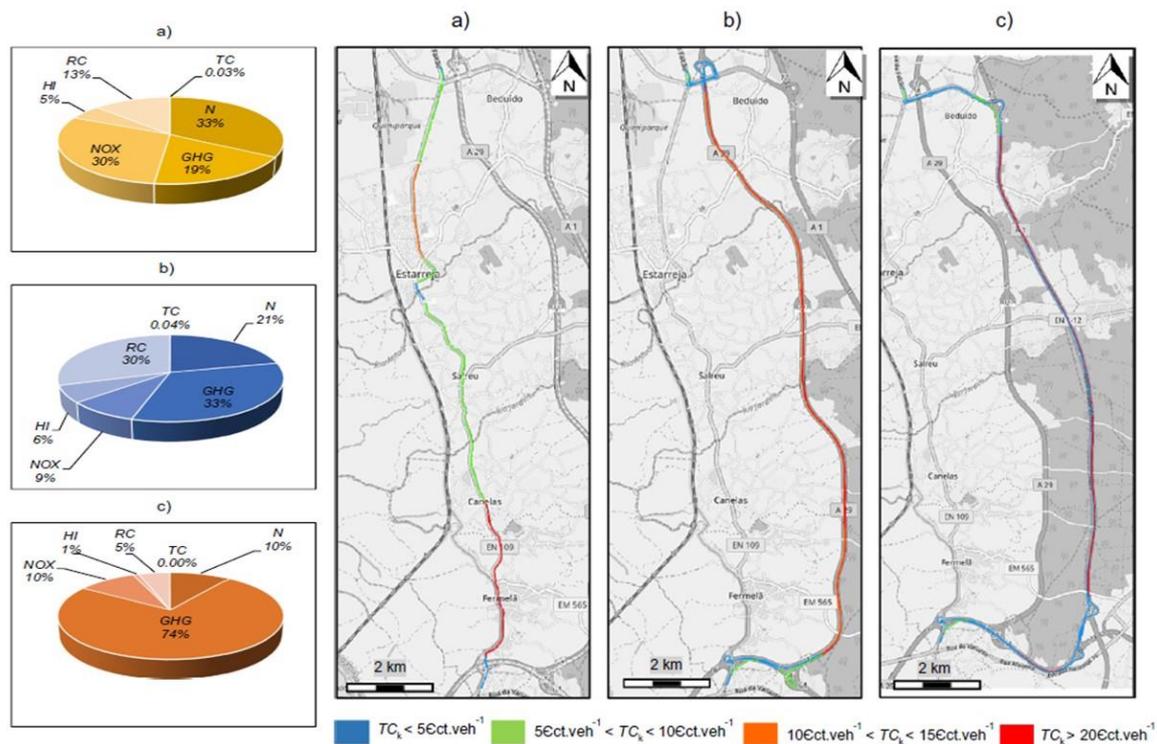


Figura 14: Soluções de roteamento com diferentes critérios: à esquerda, distribuição dos custos pelos diferentes tipos de impactes; à direita, otimização de rotas com base num eco-indicador que integra os vários impactes e com fator relativo à exposição da população proveniente de dados estatísticos nacionais (Fernandes et al., 2019b)

3.3. Impactes decorrentes da implementação de paradigmas transformadores no veículo: a mobilidade autónoma

O desenvolvimento de Sistemas Inteligentes de Transportes culmina atualmente nas tecnologias para veículos autónomos, cujo progresso conduz a uma mudança de paradigma na indústria automóvel. A mobilidade autónoma apresenta o potencial disruptivo de reduzir tempos de viagem, congestionamento e sinistralidade rodoviária; no entanto, a circulação de veículos autónomos poderá conduzir a um aumento ou diminuição das emissões de poluentes. Uma das preocupações prende-se com o período de transição, isto é, na coexistência entre veículos autónomos e convencionais.

Em Tomás et al. (2019) explorou-se o impacto ao nível das emissões para diferentes taxas de penetração de veículos autónomos num corredor de atravessamento de uma área metropolitana através de ferramentas microscópicas de modelação de tráfego e emissões (VISSIM e VSP). As emissões e o desempenho do tráfego foram avaliados para três diferentes taxas de penetração de veículos autónomos (10%, 20% e 30%). A conclusão mais relevante estabelece que índices de penetração de veículos autónomos (com propulsão de motor a combustão interna) abaixo de 30% conduzem a reduções insignificantes nas emissões (inferiores a 7%) para o domínio geral do estudo; por sua vez, índices de penetração de 30 a 50% poderão conduzir a aumentos nas emissões globais (uma vez que os veículos convencionais têm que adequar o seu comportamento à presença dos veículos autónomos, para cumprirem distâncias de segurança, o que gera um maior grau de acelerações e desacelerações) – Figura 15. Noutro artigo, Rafael et al. (2020), o aumento tanto das emissões de CO₂ como de NO_x resultou para cenários com veículos autónomos com motor de combustão interna (+0.7% e +1.8% respetivamente), mas salienta-se o potencial dos veículos autónomos com propulsão elétrica (cujo cenário apresentou reduções nas emissões de ambos os gases).

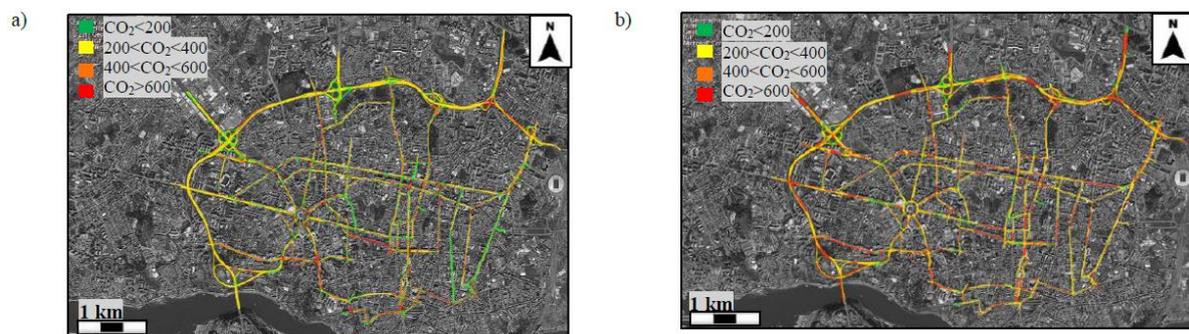


Figura 15: Hotspots de emissões de CO₂ (g/km); a) cenário base; b) cenário com 30% de penetração de veículos autónomos (Tomás et al., 2019)

Bibliografia recomendada

Materiais digitais desenvolvidos pela Docente e disponibilizados na plataforma e-learning (moodle)

Coelho, M.C. (2019a) *Slides de apoio para a unidade curricular “Energia, Mobilidade e Transportes”*, Universidade de Aveiro.

Coelho, M.C. (2019b) *Ferramentas de modelação de consumos de combustível e emissões – O Modelo Copert*. Universidade de Aveiro.

Nos restantes materiais digitais a Docente disponibiliza aos estudantes os conteúdos a unidade curricular e elementos de estudo para cada bloco temático, tendo como base conceitos, elementos e estatísticas presentes na bibliografia a seguir assinalada.

Básica e fundamental

APA (2011) *Ponto da situação das políticas de alterações climáticas em Portugal*. Agência Portuguesa do Ambiente, 31 pp.

Este documento (apresentado à Comissão para as Alterações Climáticas) descreve o ponto da situação da política para as alterações climáticas em Portugal, o qual faz uma avaliação do progresso alcançado nesta matéria.

EC (2011) *White paper 2011: Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system*. European Commission, 31 pp.

Neste documento da Comissão Europeia descreve-se um roteiro de 40 iniciativas concretas para construir um sistema de transportes competitivo até 2050. Ao mesmo tempo, as propostas preconizadas pretendem que se reduza drasticamente a dependência da Europa em relação ao petróleo e as emissões de GEE no setor dos transportes em 60% até 2050.

EEA (2013) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*. Technical report No. 12/2013, European Environment Agency.

Este guia fornece orientação técnica e a metodologia detalhada para elaborar inventários nacionais de emissões atmosféricas, em particular para o setor dos transportes.

EEA (2016a). *TERM 2016: Transitions towards a more sustainable mobility system*. EEA Report No. 34/2016, European Environment Agency, 88 pp.

TERM 2016 apresenta a informação estatística mais relevante e atualizada sobre as principais questões relacionadas com os transportes e o ambiente na Europa, particularmente em áreas com objetivos políticos específicos, tais como as emissões de GEE, o consumo de energia e os níveis de procura de transportes. Este relatório oferece igualmente uma visão geral do impacto do setor dos transportes nas emissões de poluentes atmosféricos e qualidade do ar.

EEA (2016b). *Electric vehicles in Europe*. EEA Report No. 20/2016, European Environment Agency, 39 pp.

Este relatório apresenta a informação mais relevante e atualizada sobre os veículos elétricos na Europa, nomeadamente sobre as tecnologias disponíveis, tipos de carregamento e avaliação das emissões ao longo do seu ciclo de vida. Este relatório oferece igualmente uma visão dos incentivos existentes para a aquisição e utilização dos veículos elétricos.

EEA (2017a). *Monitoring CO₂ emissions from new passenger cars and vans in 2016*. EEA Report No 19/2017, European Environment Agency, 60 pp.

Este relatório apresenta a informação estatística mais relevante e atualizada sobre a monitorização das emissões de CO₂ em veículos ligeiros de passageiros e de mercadorias. É apresentada uma avaliação da qualidade dos dados monitorizados. É dada relevância aos dados estatísticos do número de novos veículos registados no parque automóvel Europeu, à comparação entre os vários países, às emissões médias de CO₂ por fabricante em 2016, bem como às metas preconizadas para 2020/2021.

EEA (2017b). *TERM 2017: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report: Aviation and shipping — impacts on Europe's environment*. EEA Report No 22/2017, European Environment Agency, 70 pp.

TERM 2017 apresenta a informação estatística mais relevante e atualizada sobre as principais questões relacionadas com os transportes e o ambiente na Europa e focaliza esta edição no transporte aéreo e marítimo. Este relatório oferece igualmente uma visão da importância deste setor para o ambiente, que abordagens de monitorização se encontram a ser realizadas, que políticas (presentes e futuras) estão a ser implementadas, quais as opções de mitigação existentes, e quais as barreiras existentes à evolução para uma maior sustentabilidade nos setores marítimo e aéreo.

EEA (2018) *TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) - Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives*. EEA Report No 13/2018, European Environment Agency, 80 pp.

TERM 2018 apresenta a informação estatística mais relevante e atualizada sobre as principais questões relacionadas com os transportes e o ambiente na Europa. Em particular, esta edição é focada na temática dos veículos elétricos e nas perspetivas da avaliação do ciclo de vida (ACV) e de economia circular. Por um lado, pelo conceito de ACV torna-se possível avaliar o impacto ambiental dos veículos elétricos associado a todas as etapas da sua vida (“do berço ao túmulo”) - a partir da extração das matérias-primas, passando pelo processamento para fabrico do produto e para a sua utilização e, finalmente, para o fim de vida. Por outro lado, através do conceito de economia circular, o valor dos materiais e dos produtos é mantido o mais elevado possível durante o maior período possível.

EEA (2020). *The first and last mile — the key to sustainable urban transport: Transport and environment report 2019*, EEA Report No 18/2019, European Environment Agency, 86 pp.

TERM 2019 apresenta a informação estatística mais relevante e atualizada sobre as principais questões relacionadas com os transportes e o ambiente na Europa. Em particular, esta edição é dedicada aos modos que podem ser utilizados nas viagens de curta duração que têm origem ou término no centro das cidades (“first/last/only mile”), tanto para transporte de passageiros como de mercadorias.

EC (2018) *EU Transport in Figures – Statistical Pocketbook 2018*. European Union, https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2018_en, Acedido em março de 2019.

Esta publicação fornece uma visão geral das estatísticas mais recentes relacionadas com os transportes na Europa. O conteúdo deste livro de bolso é baseado em dados do Eurostat, de organizações internacionais, de estatísticas nacionais e nas suas próprias estimativas (sempre que os dados não se encontravam disponíveis). A publicação é constituída por três partes: (1) dados económicos; (2) dados de transporte de passageiros e de transporte de mercadorias; (3) impacto energético-ambiental do setor dos transportes. A maioria das tabelas apresentam dados até 2016.

Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Ntziachristos, L. & Samaras, Z. (2012) *COPERT 4: Computer programme to calculate emissions from road transport – User's Manual*. ETC-ACC (European Topic Centre on Air Air and Climate Change), <http://www.emisia.com/copert/Documentation.html>, Acedido em fevereiro de 2016.

COPERT 4 é um software para calcular as emissões de gases do transporte rodoviário. O seu desenvolvimento é coordenado pela Agência Europeia do Ambiente, no âmbito das atividades do Centro Temático Europeu para a Poluição do Ar e Mitigação das Mudanças Climáticas. A metodologia do COPERT 4 faz parte do “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013”.

Schafer, A., Heywood, J.B., Jacoby, H.D. and Waitz, I.A. (2009) *Transportation in a climate-constrained world*. The MIT Press, Cambridge, 340 pp.

Os autores apresentam uma avaliação integrada dos fatores que afetam os GEE do setor de transporte de passageiros. Eles descrevem a evolução dos GEE, a influência de escolhas pessoais sobre o impacto climático do transporte de passageiros, e perspetivam as tecnologias e combustíveis alternativos que se encontram disponíveis para mitigar essas emissões, bem como as políticas que possam promover a sua adoção. Em suma, faz-se uma reflexão de como se poderá planear um sistema de transporte mais sustentável nos próximos trinta a cinquenta anos.

TRB, 2019. *Critical issues in transportation 2019*. Transportation Research Board of the National Academies. 39 pp.

Neste relatório, várias questões desafiantes são colocadas para identificar e explorar questões críticas e oportunidades futuras no setor dos transportes. Essas questões estão organizadas em doze áreas temáticas e fornecem uma maneira de enquadrar as futuras áreas de investigação. Este documento pretende igualmente aprimorar o conhecimento coletivo da sociedade sobre o setor dos transportes. Os problemas são identificados e documentados sob uma perspectiva dos Estados Unidos da América, mas constituem desafios comuns noutros países.

Volpe Center, 2020. *Our new mobility future*. Report No. DOT-VNTSC-20-01, US Department of Transportation.

Este documento constitui o resumo de um fórum de especialistas que discutiram o futuro da mobilidade em cada uma das áreas de prioridade estratégica do Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América, nomeadamente: segurança, infraestrutura, inovação e responsabilidade.

Avançada e complementar

Bosch GmbH, R. (2011) *Automotive Handbook*, John Wiley & Sons, 8th Edition, 1266 pp.

O Manual do Automóvel é a principal publicação da série BOSCH sobre diferentes tecnologias do setor automóvel e uma referência na área. Como tem havido um extraordinário progresso no campo da engenharia automóvel, esta nova edição foi atualizada significativamente, com a documentação da existência de tecnologias inovadoras, com maior ênfase em sistemas elétricos e com um novo capítulo sobre os sistemas de assistência ao condutor.

Busse, M., Herrmann, A., Kayvantash, K., Lehmus, D. (2013) *Structural Materials and Processes in Transportation*. John Wiley & Sons, 500 pp.

Este manual cobre o uso de materiais estruturais no setor dos transportes, em particular para o transporte ferroviário, transporte rodoviário e aéreo, com um forte enfoque sobre os mais recentes materiais de engenharia avançada. São apresentadas as propriedades e processos de fabrico em cada classe de materiais, tais como metais, compósitos e polímeros. Os materiais e processos amigos do ambiente são igualmente abordados.

Coley, D. (2008) *Energy and Climate Change – Creating a Sustainable Future*. John Wiley & Sons, 678 pp.

O livro aborda os fundamentos globais da energia, assim como o efeito negativo sobre o ambiente. É demonstrado como os sistemas estão relacionados uns com os outros por meio de fluxos energéticos. Descreve as tecnologias não sustentáveis em termos energéticos, explica o fenómeno das alterações climáticas e culmina na apresentação das tecnologias de energias renováveis que poderão contribuir para mitigar o problema.

Committee on the Sustainable Development of Algal Biofuels; Board on Agriculture and Natural Resources; Board on Energy and Environmental Systems; Division on Earth and Life Studies; Division on Engineering and Physical Sciences; National Research Council (2012) *Sustainable Development of Algal Biofuels in the United States*. National Research Council of the National Academies, 231 pp.

Os biocombustíveis produzidos a partir de algas estão a ser foco de atenção como uma potencial fonte endógena de combustível renovável. A análise feita pelos autores mostra, no entanto, que com as tecnologias atuais, ampliar a produção de biocombustíveis de algas para cumprir até 5% das necessidades de combustível para transportes nos EUA poderia levar a consumos insustentáveis de recursos energéticos, água e nutrientes. Por outro lado, determinar se os biocombustíveis de algas constituem uma alternativa viável de combustível envolve comparar os impactes ambientais, económicos e sociais, com a avaliação de ciclo de vida a aparecer como fator essencial neste processo. O papel da investigação e desenvolvimento na área é considerado fulcral para enfrentar esses desafios.

Committee on Transitions to Alternative Vehicles and Fuels; Board on Energy and Environmental Systems (BEES); Division on Engineering and Physical Sciences (DEPS); National Research Council (2013) *Transitions to Alternative Vehicles and Fuels*. National Research Council of the National Academies, 170 pp.

Este livro avalia o potencial de redução do consumo de petróleo e as emissões de GEE em 80% para os veículos ligeiros nos EUA em 2050, em relação a 2005. Adicionalmente, analisa a

capacidade atual, desempenho futuro e os custos para cada tipo de tecnologia alternativa e como cada opção pode contribuir significativamente para esse objetivo. O relatório identifica igualmente as barreiras para a implementação dessas tecnologias e sugere políticas para alcançar as reduções desejadas. Vários cenários são analisados e reforça-se o papel de políticas eficazes, investigação e desenvolvimento, subsídios, impostos sobre a energia, regulamentação, custo e escolha do consumidor.

De Nevers, N. (1999) *Air Pollution Control Engineering*. McGraw-Hill, 586 pp.

O controlo de poluição do ar pode ser abordado a partir de um número de diferentes disciplinas da engenharia do ambiente, química, civil e mecânica. Este livro aborda o tipo de poluentes atmosféricos, a sua formação (nomeadamente, em motores de combustão interna), a teoria e a prática de dispositivos de controlo de poluição do ar, os modelos de dispersão de poluentes e a legislação sobre poluição atmosférica dos EUA.

Ferrão, P. (2009) *Ecologia Industrial - Princípios e Ferramentas*. IST Press, 422 pp.

Este livro reúne trabalho de investigação que o autor promoveu e coordenou durante a última década. Incide sobre o tema da Ecologia Industrial, numa visão holística e sistémica sobre energia, ambiente e desenvolvimento sócio-económico. É de realçar a descrição detalhada do conceito de avaliação de ciclo de vida, bem como a sua extensão à otimização económica e ambiental do ciclo de vida de produtos.

Gudmundsson, H., Hall, R.P., Marsden, G., Zietsman, J. (2015) *Sustainable Transportation Indicators, Frameworks, and Performance Management*. Springer, 304 pp.

Este livro fornece uma introdução ao conceito de sustentabilidade no contexto do planeamento, gestão e tomada de decisão no setor dos transportes. Através da análise de estudos de caso reais são demonstrados os benefícios e as limitações das atuais abordagens para o desenvolvimento sustentável no setor. O livro conclui com uma discussão sobre como o fator sustentabilidade poderá ser incluído no processo de tomada de decisões no setor dos transportes.

Hensher, D.A., Button, K. (2003) *Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier, 854 pp.

Este manual incide numa das questões mais desafiadoras para o setor dos transportes: os seus impactes ambientais. Cada capítulo foi encomendado a um especialista mundial reconhecido sobre o respetivo tema em análise. As principais preocupações ambientais (aquecimento global, qualidade do ar, ruído, segurança), o papel das novas tecnologias e combustíveis alternativos na redução das externalidades ambientais, a contribuição de cada modo de transporte para o consumo de energia e as emissões, o papel da legislação ambiental, são alguns dos aspetos analisados.

Heywood, J.B. (1989) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 930 pp.

Este livro apresenta um desenvolvimento fundamental da ciência e da engenharia subjacentes ao projeto de motores de combustão interna.

Kemp, W. H. (2007) *The Zero-Carbon Car: Building the Car the Auto Industry Can't Get Right*. Aztext Press, 500 pp.

Esta obra analisa as questões das alterações climáticas, o pico do petróleo, a expansão urbana, e perturbação relacionada com o consumo de combustíveis fósseis. O livro argumenta que há uma oportunidade para a indústria automóvel desenvolver um automóvel ultra-eficiente e que a tecnologia existente se afigura viável de ser concretizada.

Kutz, M. (2008) *Environmentally Conscious Transportation*. John Wiley & Sons, 350 pp.

Este livro fornece uma base para a compreensão e implementação de métodos para reduzir o impacto ambiental de diversos modos de transporte, nomeadamente rodoviário, ferroviário e aéreo. Cada capítulo foi escrito por especialistas que apresentam técnicas práticas e analíticas relevantes para melhorar a fiabilidade de veículos e das infraestruturas, bem como para medir e limitar a poluição causada por atividades de transporte.

Martins, J. (2013) *Motores de combustão interna*. Publindústria, 4ª edição, 512 pp.

Este livro é uma referência escrita em português sobre motores de combustão interna. Nesta edição atualizada incluem-se os motores de aviação (incluindo os de pistão) e os biocombustíveis. Houve igualmente uma melhoria das descrições dos sistemas de injeção dos motores Diesel e uma revisão das equações de modelação dos motores. Dado que alguns dos recentes carros elétricos usam "range extenders" como forma de produção de eletricidade a bordo, este tipo de motores de combustão interna é também apresentado nesta edição.

Ortúzar, J.D., Willumsen, L.G. (2011) *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, 4th Edition, 606 pp.

Este livro é reconhecido como o texto principal em técnicas de modelação de transportes e suas aplicações. Cada tópico é abordado como um exercício de modelação com a discussão da teoria subjacente, dados, especificação do modelo, estimativa, validação e aplicação. Incorpora o tratamento de questões recentes e preocupações como a análise de risco e a interação dinâmica entre uso do solo e transporte. Relaciona, ainda, os diversos temas, tais como o aquecimento global, a valorização das externalidades e sistemas de posicionamento global (GPS).

Seitz, J.L., Hite, K. A. (2012) *Global Issues: An Introduction*. John Wiley & Sons, 4th Edition, 304 pp.

Esta obra oferece uma abordagem para as preocupações ambientais, económicas, sociais e políticas mais importantes da sociedade moderna. Reflete sobre os mais recentes desenvolvimentos globais, nomeadamente no setor da energia e descreve os paradigmas atuais e os seus impactos.

Sorensen, B. (2010). *Renewable Energy*. Elsevier, 4th Edition, 976 pp.

Este volume proporciona uma visão completa de toda o universo de energias renováveis. Na primeira parte, abrange os princípios científicos básicos de todos os principais recursos energéticos renováveis. A segunda parte fornece informação sobre como a conversão, transporte e armazenamento dessas fontes renováveis. Finalmente, a terceira parte estabelece os aspetos de planeamento de energia, impactos ambientais e questões sócio-económicas ao nível regional e global. Esta quarta edição inclui a temática dos biocombustíveis e das células a combustível.

Stolten, D. (2010) *Hydrogen and Fuel Cells*, John Wiley & Sons, 908 pp.

Este manual explora a evolução da tecnologia do hidrogénio e das pilhas de combustível como uma alternativa economicamente viável. Através da participação de vários cientistas internacionais, é

descrito como o hidrogénio pode ser produzido de forma segura, armazenado, transportado e utilizado, e cobre igualmente temas mais amplos como o impacto ambiental e os desenvolvimentos ao nível da regulação.

van Nunen, J.A.E.E., Huijbregts, P., Rietveld, P. (2013) *Transitions Towards Sustainable Mobility: New Solutions and Approaches for Sustainable Transport Systems*. Springer, 317 pp.

Oferecer um sistema de transporte sustentável não é apenas uma questão de adotar uma série de inovações tecnológicas para melhorar o seu desempenho. Este livro defende que é necessária uma transição estrutural e social mais ampla, na tecnologia, nas instituições e nos padrões comportamentais. Uma abordagem integrada é apresentada neste livro em vários domínios, nomeadamente na integração de infraestrutura de transportes e ordenamento do território, experiências com a otimização dinâmica dos transportes, e implementação de projetos-piloto.

Sítios web de interesse

European Environment Agency (EEA). <http://www.eea.europa.eu> .

Estatísticas da Associação de Comércio Automóvel de Portugal (ACAP). <http://www.acap.pt/pt/pagina/36/estat%C3%ADsticas/> .

Estatísticas da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). <http://www.dgeg.gov.pt> .

Instituto de Mobilidade e dos Transportes, I.P. <http://www.imt-ip.pt> .

Eltis – The Urban Mobility Portal. <http://www.eltis.org/>

Estatísticas do Parque Automóvel Seguro, Instituto de Seguros de Portugal. <https://www.asf.com.pt/NR/exeres/7D383D46-9431-416E-98C7-395B0A9E7080.htm> .

Plano Intermunicipal de Mobilidade e Transportes da Região de Aveiro. http://www.regiaodeaveiro.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=29289&projectold=25 .

Programa CIVITAS. <http://www.civitas.eu/>

QualAr – Base de Dados On-line sobre Qualidade do Ar. Agência Portuguesa do Ambiente. <http://qualar.apambiente.pt/>

Sítios web dos fabricantes de automóveis.

UN. About the Sustainable Development Goals. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

US EPA – United States Environmental Protection Agency, Office of Transportation, Air Quality, and Climate Change. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change> .

Vídeos da Agência Europeia do Ambiente sobre transportes e energia, http://www.eea.europa.eu/media/audiovisuals#c3=transport&c8=all&b_start=0 .

Artigos de Revistas e Conferências Científicas Internacionais

- Bandeira, J., Fernandes, P., Fontes, T., Pereira, S.R., Khattak, A.J., Coelho, M.C., 2018. *Exploring Multiple Eco-Routing Guidance Strategies in a Commuting Corridor*. International Journal of Sustainable Transportation, Volume 12(1), pp. 53–65.
- Bahmankhah, B., Fernandes, P., Ferreira, J., Bandeira, J., Santos, J., Coelho, M.C., 2019, *Assessing the Overtaking Lateral Distance Between Motor Vehicles and Bicycles – Impacts on Energy Consumption and Road Safety*, Capítulo do livro “Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks”, Springer, pp. 174-189.
- Coelho, M.C., Zhai, H., Frey, H.C., Roupail, N.M., Pelkmans, L., 2009. *Assessing Methods for Comparing Emissions from Gasoline and Diesel Light-Duty Vehicles Based on Microscale Measurements*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 14(2), pp. 91-99.
- Coelho, M.C., Fontes, T., Bandeira, J.M., Pereira, S.R., Tchepel, O., Dias, D., Sá, E., Amorim, J.H., Borrego, C., 2014. *Assessment of potential improvements on regional air quality modelling related with implementation of a detailed methodology for traffic emission estimation*. Science of the Total Environment, Volumes 470–471, pp. 127–137.
- Fajardo, J., Santos, J.P., Coelho, M.C., 2016. *An On-Board Platform of Sensors for Enhancing Safety of Cyclists*, Conferência internacional “Scientists for Cycling”, Universidade de Aveiro.
- Fernandes, P., Pereira, S.R., Bandeira, J.M., Vasconcelos, L., Silva, A.B., Coelho, M.C., 2016. *Driving around turbo-roundabouts vs. conventional roundabouts: are there advantages regarding pollutant emissions?*, International Journal of Sustainable Transportation, Volume 10, No. 9, pp. 847-860.
- Fernandes, P., Roupail, N.M., Coelho, M.C., 2017. *Turbo-Roundabouts Along Corridors: Analysis of Operational and Environmental Impacts*, Transportation Research Record, No. 2627, pp. 46-56.
- Fernandes, P., Teixeira, J., Guarnaccia, C., Bandeira, J., Macedo, E., Coelho, M.C., 2018. *The Potential of Metering Roundabouts: Influence in Transportation Externalities*. Transportation Research Record, Volume 2672(25), pp. 21-34.
- Fernandes, P., Macedo, E., Bahmankhah, B., Tomas, R., Bandeira, J.M., Coelho, M.C., 2019a. *Are internally observable vehicle data good predictors of vehicle emissions?*, Transportation Research Part D, Volume 77, December 2019, pp. 252-270.
- Fernandes, P., Vilaça, M., Macedo, E., Sampaio, C., Bahmankhah, B., Bandeira, J., Guarnaccia, C., Rafael, S., Fernandes, A., Relvas, H., Borrego, C., Coelho, M.C., 2019b, *Integrating road traffic externalities through a Sustainability Indicator*, Science for Total Environment, Volume 691 (2019), pp. 483-498.
- Ferreira, E., Fernandes, P., Bahmankhah, B., Coelho, M.C., 2020. *Micro-analysis of a single vehicle driving volatility and impacts on safety and emissions for intercity corridors*, submetido para o Journal of Sustainable Transportation.

Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J., Pereira, S.R., Khattak, A.J., Coelho, M.C., 2014. *Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city?*. *Transportation Research A: Policy and Practice*, Volume 63, pp. 93–106.

Rafael, S., Correia, L.P., Lopes, D., Bandeira, J., Coelho, M.C., Andrade, M., Borrego, C., Miranda, A.I., 2020. *Autonomous vehicles opportunities for cities air quality*, *Science of the Total Environment* 712 (2020) 136546.

Tomás, R., Fernandes, P., Macedo, E., Bandeira, J.M., Coelho, M.C., 2020. *Assessing the emission impacts of autonomous vehicles in metropolitan freeways*. *Transportation Research Procedia* 47 (2020), pp. 617-624.