

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Pegada Carbónica da FCUL

Célio Agostinho Exposto Saldanha

Mestrado Integrado em Engenharia de Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Prof. Doutora Carla Silva (FCUL)

“Everyone has different clock. Wait for your time.”

- Jay Shetty.

Agradecimentos

À professora Carla Silva, um enorme obrigado por toda a disponibilidade e paciência durante a realização deste trabalho.

Um especial agradecimento à minha companheira Mizé, à minha filha Renata e aos meus pais pelo apoio incondicional, por toda a força e motivação que me deram, principalmente nos momentos mais difíceis e não me deixarem desistir.

Obrigado a todos que me acompanharam nesta jornada: familiares, amigos e colegas.

Por último, mas não menos importante, Obrigado a Deus, por todas as bênçãos!

Resumo

As alterações climáticas representam um dos maiores desafios para a sociedade e, nas últimas décadas, um número crescente de instituições e empresas começaram a reportar anualmente o seu desempenho ao nível das emissões indiretas de gases com efeito de estufa (GEE), nomeadamente CO₂, CH₄ e N₂O, em termos de CO_{2eq}, ou seja, contabilizando a sua Pegada Carbónica (PC). Assim, cada vez mais as empresas/instituições seja qual for o sector de atividade procuram avaliar e reportar o seu desempenho ambiental, não só para estimar a quantidade de gases prejudiciais, mas também gerir riscos, identificar atividades/processos poluentes, possíveis oportunidades de redução da Pegada Carbónica, melhorar eficiência, ganhar vantagem competitiva e reduzir custos. Esta dissertação teve como objetivo principal avaliar a PC da Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa (FCUL), no *campus* do Campo Grande, no intervalo temporal de 2017 a 2019, seguindo uma abordagem da Avaliação do ciclo de vida. O método utilizado, baseado no *GHG Protocol*, segue a divisão das emissões de GEE em emissões diretas referentes do consumo do gás natural, gases refrigerantes e veículos da FCUL (âmbito 1), emissões indiretas referentes à geração da eletricidade consumida (âmbito 2), emissões indiretas referentes ao gasto energético e processamento com resíduos, alimentos e água (estação de tratamento de água – ETA, e estação de tratamento de águas residuais – ETAR), emissões de viagens pendulares Casa-FCUL e dos investigadores FCUL-Reunião/trabalho de campo/conferência (âmbito 3).

Os dados de consumo de energia, da água e dos resíduos (plástico, vidro, equipamentos elétricos, óleos usados, madeira, metais, materiais hospitalares) foram fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade da FCUL. Os dados da aquisição de bens alimentares (dividido em categorias produto) foram fornecidos pela Associação de trabalhadores da FCUL (ATFCUL), sem discriminar os fornecedores para garantir a proteção de dados. Através dos inquéritos realizados em 2017 e 2019 para efeito de dissertações, foi possível obter dados para as viagens pendulares e viagens dos investigadores, respetivamente. Os resultados mostram que a pegada carbónica variou entre 9486 e 9580 toneladas de CO_{2e}, ou para valores *per capita* que variou entre 1.55 e 1.61 toneladas de CO_{2e}, sendo as emissões do âmbito 3, as quais a faculdade não tem controlo, são as que tiveram maior expressão final. As viagens pendulares foram a fonte de emissão que mais peso teve na PC da FCUL, cerca de 45%, seguido por consumo de energia elétrica (variou entre 22-26%) e gases refrigerantes (15%).

Palavra-chave: Avaliação do ciclo de vida; Consumo de energia; Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos; Viagens pendulares casa-FCUL; Alimentação.

Abstract

Climate change represents one of the greatest challenges for the society and increasing number of companies have begun to intensively report annually, in recent decades, their performances on in terms of greenhouse gas emissions, namely CO₂, CH₄, N₂O, in other words counting de Carbon Footprint, CO_{2e}. In this regard, more and more companies/institution, regardless to sector of activity, are seeking and reporting their environmental performance, not only to estimate the amounts of harmful gases but also to manage the risks, identify pollutant activities/processes, improve efficiency, opportunities to reduce Carbon Footprint, gain competitive advantage and reduce costs. The main objective of this dissertation it's to evaluate the Carbon footprint (CF) of Faculty of Science of the University of Lisbon, Campo Grande *Campus*, for the year 2017, 2018 and 2019, using a life cycle assessment approach. The method used, based on the GHG Protocol, divides GHG emissions into direct emissions referring to the consumption of natural gas, refrigerant gases and FCUL vehicles (scope 1), indirect emissions referring to the generation of electricity consumed (scope 2) and indirect emissions referring to energy expenditure and processing with waste, food and water (water treatment plant and wastewater treatment plant) and emissions from commuting trips home-FCUL and FCUL's researchers - Meeting/fieldwork/conference (scope 3).

The Energy, the water and the waste consumption data (plastic, glass, electrical equipment, used oils, wood, metals, hospital supplies) were provided by the FCUL sustainability office. The food purchases data (divided into product categories) were provided by the FCUL Workers Association (ATFCUL). Through the surveys carried out for the purpose of the dissertations in 2017 and 2019, it was possible to obtain data for commuting and Researchers trips, respectively. Over the years, the results show that CF fluctuates between 9486 and 9580 tons of CO_{2e}, or per person, between 1.55 and 1.61 tons of CO_{2e}. Scope 3, the group which FCUL has no control on the emissions, had a bigger contribution for the global emission. FCUL community's commuting trips were the emission source that more affected the global CF of the institution, by 45%, followed by consumption of electricity (went 22-26%) and refrigerant gases (15%).

Keywords: Life cycle assessment; Energy Consumption; Municipal Solid Waste; Commuting home-FCUL; Food.

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Lista de tabelas.....	vii
Lista de Gráficos	viii
Lista de Figuras.....	ix
Simbologia e Notações.....	x
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Caso de Estudo	1
1.3 Pegada de Carbono	2
1.4 Estado da Arte	4
Capítulo 2 - Metodologia.....	7
2.1 Identificação das Fontes de Emissão e definição de âmbito	8
2.2 Avaliação da Pegada.....	9
2.2.1 Âmbito 1	9
2.2.1.1 Consumo de Gás Natural.....	9
2.2.1.2 Refrigeração	9
2.2.1.3 Veículos da FCUL	10
2.2.2 Âmbito 2	11
2.2.2.1 Eletricidade.....	11
2.2.3 Âmbito 3	11
2.2.3.1 Consumo da Água	11
2.2.3.2 Alimentação	12
2.2.3.3 Viagens Pendulares Casa-FCUL-Casa.....	13
2.2.3.4 Viagem de Investigadores	14
2.2.3.5 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	16
Capítulo 3 – Resultados.....	18
3.1 Consumo de Gás Natural.....	18
3.2 Refrigeração	18
3.3 Veículos da FCUL	19
3.4 Eletricidade.....	19
3.5 Consumo da Água	20
3.6 Alimentação	20

3.7 Viagens Pendulares Casa-FCUL-Casa.....	22
3.8 Viagens dos Investigadores	24
3.9 Tratamento de RSU	26
Capítulo 4 - Discussão de resultados.....	30
Capítulo 5 - Conclusão e Desenvolvimentos futuros	33
Referências.....	34
Anexo	37

Lista de tabelas

Tabela 1.1 – Estatística de Alunos e dos Recursos humanos nos anos do caso de estudo.....	2
Tabela 1.2 – Comparação entre Instituições de ensino superior internacionais utilizando métodos similares	5
Tabela 1.3 – Comparação da Pegada Carbónica por estudante em diferentes Instituições de ensino superior	6
Tabela 2.1 – Identificação das fontes de emissão por âmbito seguindo as normas GHG <i>Protocol</i>	9
Tabela 2.2 – Fatores de emissão associados aos gases refrigerantes	10
Tabela 2.3 – Fatores de emissão associados ao combustível utilizado pelos veículos da FCUL	10
Tabela 2.4 – Fatores de emissão associadas às emissões de eletricidade, gCO _{2e} /kWh	11
Tabela 2.5 – Fatores de emissão associados ao processo de tratamento de água, kgCO _{2e} /m ³	12
Tabela 2.6 – Fatores de emissão associados ao consumo dos produtos de bens alimentares, kgCO _{2e} /kg ou kgCO _{2e} /L	12
Tabela 2.7 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo transporte utilizado gCO _{2e} /p-km	13
Tabela 2.8 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo de transporte elétrico em Portugal gCO _{2e} /p-km	13
Tabela 2.9 – Exemplo de dados fornecidos associada às viagens de investigadores	15
Tabela 2.10 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo de transporte elétrico em alguns países da Europa e o resto do mundo, gCO _{2e} /kWh e gCO _{2e} /p-km	16
Tabela 2.11 – Fatores de emissão associados aos resíduos produzidos, kgCO _{2e} /t	17
Tabela 3.1 – Pegada Carbónica associada ao consumo de Eletricidade	19
Tabela 3.2 – Pegada Carbónica associada ao consumo de água	20
Tabela 3.3 – Distância total percorrida por modo de transporte	23
Tabela 3.4 – Pegada Carbónica <i>per capita</i> resultante do inquérito da FCUL (10% taxa de resposta).....	23
Tabela 3.5 – Pegada Carbónica associado ao tipo de resíduo em 2017	26
Tabela 3.6 – Pegada Carbónica associado ao tipo de resíduo em 2018	27
Tabela 3.7 – Pegada Carbónica associado ao tipo de resíduo em 2019	27
Tabela 4.1 – Pegada Carbónica global da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa	30

Lista de Gráficos

Gráfico 3.1 – Consumo anual de gás natural nos edifícios da FCUL para os anos de estudo	18
Gráfico 3.2 – Recarga anual dos gases refrigerantes	19
Gráfico 3.3 – Pegada Carbónica associada à frota da FCUL consoante o combustível utilizado	19
Gráfico 3.4 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2017	20
Gráfico 3.5 – Quantidade e Pegada Carbónica associada a alimentação no ano 2017	20
Gráfico 3.6 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2018	21
Gráfico 3.7 – Quantidade e Pegada Carbónica associada a alimentação no ano 2018	21
Gráfico 3.8 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2019	21
Gráfico 3.9 – Quantidade e Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2019	22
Gráfico 3.10 – Evolução da aquisição dos bens alimentares ao longo dos anos de estudo	22
Gráfico 3.11 – Pegada Carbónica associada às viagens pendulares da comunidade FCUL	23
Gráfico 3.12 – Comparação, em percentagem, da emissão entre veículos privados (Carro) e Transportes públicos/Modos suaves (TP e MS)	24
Gráfico 3.13 – Distância percorrida por modo de transporte associados às viagens dos investigadores em 2019	24
Gráfico 3.14 – Pegada Carbónica associada às viagens dos investigadores por modo de transporte.....	25
Gráfico 3.15 – Peso das Pegadas de Carbono por tipo de modo de transporte utilizado pelos docentes/investigadores	25
Gráfico 3.16 – Evolução da Quantidade de resíduos valorizados (R13) ao longo dos anos de estudo	28
Gráfico 3.17 – Evolução da Pegada Carbónica dos resíduos valorizados (R13) ao longo dos anos de estudo	28
Gráfico 3.18 – Evolução da Quantidade de resíduos para Eliminação (D13) ao longo dos anos de estudo ...	29
Gráfico 3.19 – Evolução da Pegada Carbónica de resíduos para Eliminação (D13) ao longo dos anos de estudo	29
Gráfico 4.1 – Peso das emissões consoante a definição de âmbito	30
Gráfico 4.2 – Evolução da Pegada Carbónica <i>per capita</i> por fonte de emissão nos anos de estudo	32
Gráfico 4.3 – Peso das fontes de emissão na Pegada Carbónica global da Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa	32

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Identificação da área do caso de estudo: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, <i>Campus</i> do Campo Grande. Fonte: Google	2
Figura 1.2 – Gases de efeito de estufa (GEE) associadas às fontes de emissão. Adaptado: <i>GHG Protocol</i> ..	3
Figura 2.1 – Estágios e aplicações do método de avaliação do ciclo de vida. Adaptado: ISO 14040, 1997..	7
Figura 2.2 – Representação da metodologia WTW. Adaptado: JEC, 2016	8
Figura 3.1 – Pegada carbónica gerada no espaço internacional associadas às viagens dos investigadores da FCUL	26

Simbologia e Notações

ACV	Análise de Ciclo de Vida
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes (<i>Conference Of the Parties</i>)
CTG	Craddle-to-grave
DEFRA	Departamento para o Ambiente, Alimentação e Assunto Rurais do Reino Unido (<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>)
EEA	Agência Europeia do Ambiente (<i>European Environment Agency</i>)
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FCUL	Faculdade Ciências da Universidade de Lisboa
FE	Fator de emissão
gCO _{2e}	Grama de Dióxido de Carbono equivalente
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFC	Hidrofluorcarbonetos
IEA	Agência Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
IPCC	Painel Intergovernamental sobre as mudanças climáticas (<i>Intergorvenmental Panel on Climate Change</i>)
JRC	Repositório de publicações de centro de pesquisa europeu (<i>Joint Research Centre</i>)
kg	Quilograma
kgCO _{2e}	Quilograma de Dióxido de Carbono equivalente
km	Quilómetro
kWh	Quilowatt-hora
L	Litros
m ³	metro cúbico
MJ _{final}	Megajoules final
N ₂ O	Óxido nitroso
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONG	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PC	Pegada Carbónica
PCI	Poder Calorífico Inferior
PFC	Compostos Perfluorados
RH	Recursos Humanos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
t	Toneladas
tCO _{2e}	Toneladas de Dióxido de Carbono equivalente
tep	toneladas equivalentes de petróleo
TTW	Tank-to-Wheel
UNEP	Programa das Nações Unidas para o meio ambiente (<i>United Nation Enviroment Programme</i>)
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)

WBCSD	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (<i>World Business Council for Sustainable Development</i>)
WMO	Organização de Meteorologia Mundial (<i>World Meteorological Organization</i>)
WRI	<i>World Resources Institute</i>
WTT	<i>Well-to-Tank</i>
WTW	<i>Well-to-Wheel</i>

Capítulo 1 - Introdução

Estudos realizados dão evidências científicas claras de que a temperatura média da superfície da Terra tende a aumentar como resultado do aumento dramático na concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, e potencialmente leva às mudanças substanciais no clima global com impacto consequente na vida humana e no meio ambiente. A crescente preocupação da sociedade em relação às mudanças climáticas favorece os governos a estabelecer políticas a fim de gerir e mitigar as emissões.

No âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do clima através da conferência das partes (COP) em 2015, foi assinado o Acordo de Paris que estabeleceu objetivos de longo prazo de contenção do aumento da temperatura média global a um máximo de 2° C, com compromisso da parte da comunidade internacional de prosseguir todos os esforços para que esse aumento não ultrapasse 1.5°C, valores que a ciência define como máximos para garantir a continuação da vida no planeta como a conhecemos sem alterações demasiado disruptivas.

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios para a sociedade e, nas últimas décadas, um número crescente de empresas começou a relatar intensamente o seu desempenho ao nível das emissões indiretas de gases com efeito de estufa (GEE). Assim, cada vez mais as empresas/instituições seja qual for o sector de atividade procuram avaliar e reportar o seu desempenho ambiental, não só para estimar a quantidade de gases prejudiciais, mas também gerir riscos, identificar atividades/processos poluentes, possíveis oportunidades de redução da Pegada Carbónica, melhorar eficiência, ganhar vantagem competitiva e reduzir custos ^[1].

A Faculdade de Ciências é uma instituição centenária tem adotado práticas que visam cada vez mais uma maior eficiência energética e hídrica, a gestão adequada de resíduos, o controlo das emissões de gases com efeito de estufa e a diversificação dos espaços verdes como forma de promover a biodiversidade urbana.

1.1 Objetivos

O presente estudo tem como principal propósito determinar a pegada carbónica, ou seja, quantificar as emissões de gases de efeito de estufas com origem diretamente e indiretamente do universo da Faculdade Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), *campus* do Campo Grande, e avaliar a sua evolução ao longo dos anos 2017, 2018 e 2019, englobando, consumo de energia elétrica, gás natural, água, alimentos, produção de resíduos e energia despendida em viagens pendulares e de investigação.

1.2 Caso de Estudo

A FCUL é uma instituição de ensino superior público situada no pólo da Cidade Universitária, em Lisboa, dedicada ao ensino e investigação das ciências naturais e exatas. As suas instalações são constituídas por 11 edifícios compreendendo uma área superior a 75 500 m². Na figura 1, dentro da fronteira identificada a vermelho representa a faculdade onde alberga 11 edifícios, 10 departamentos, 19 unidades de Investigação, 134 laboratórios de ensino, 184 laboratórios de investigação, 12 bares cantinas/restaurantes, 4 bibliotecas, 10 espaços estudantes, 30 laboratórios de informática, 1788 painéis solares e mais de 15 000 m² de espaços verdes.



Figura 1.1 - Identificação da área do caso de estudo: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campus do Campo Grande. Fonte: Google

Na tabela 1.1 mostra a estatística de alunos e dos recursos humanos (investigadores, docentes e não docentes) para cada ano de estudo. Estes números terão impacto na avaliação da PC por capita.

Tabela 1.1 - Estatística de Alunos e dos Recursos humanos nos anos do caso de estudo.

	2017	2018	2019
Alunos	5263	5383	5457
Investigadores	74	66	171
Docentes / Não Docentes	609	578	552
Total	5946	6027	6180

1.3 Pegada de Carbono

A pegada de carbono é um dos três indicadores ambientais nos quais estão incluídas a pegada hídrica e a pegada ecológica, e representam vários aspetos das consequências e impactos das atividades do ser humano no meio ambiente [2]. De acordo com os objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), nomeadamente, o objetivo 13, ação climática, adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos, é fundamental medir e monitorizar os impactos a fim de estabelecer medidas para os mitigar.

Durante o estudo identificou-se que os gases mais abordados são os 6 gases abrangidos no protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), compostos perfluorados (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Segundo as Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change* ou UNFCCC), a pegada de carbono é a quantidade de GEE emitidos, direta ou indiretamente, por um país, uma empresa, uma organização, um indivíduo ou um produto ^[3].

A pegada de carbono pessoal é a que se origina de um único indivíduo na sua vida quotidiana ao se deslocar, consumir, se alimentar e utilizar recursos como a energia. Da mesma forma que as pessoas, as empresas/organizações também realizam atividades que geram gases de efeito estufa, por exemplo, durante a fabricação, transmissão ou consumo de energia. Produtos/bens de consumo também emitem gases de efeito estufa antes, durante e depois de sua vida útil. Portanto, a contaminação ocorre desde a obtenção das matérias-primas, processamento, produção e distribuição até a etapa de uso e transformação em um resíduo que será reutilizado, reciclado ou descartado em um aterro sanitário.

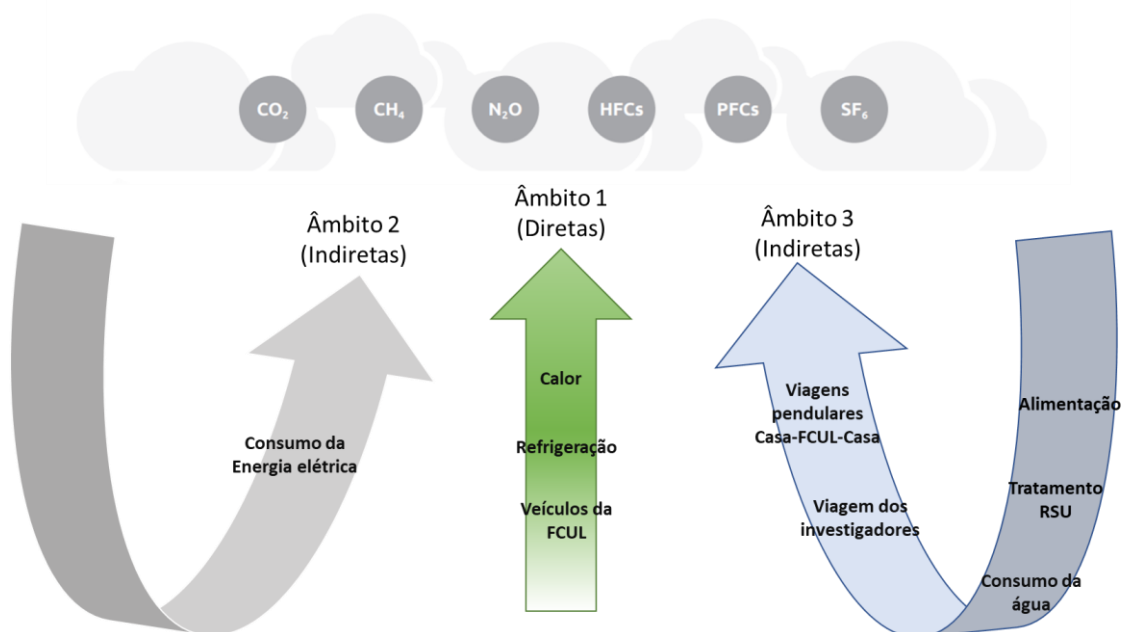


Figura 1.2 – Gases de efeito de estufa (GEE) associadas às fontes de emissão. Adaptado: GHG Protocol ^[9].

No presente estudo, o cálculo da pegada de carbono tem como referência as metodologias do GHG Protocol^[4], DEFRA^[5], IPCC wg3^[6], International Energy Agency (IEA) ^[7], European Environment Agency (EEA) ^[8], JRC Technical reports^[9], legislação portuguesa e dados fornecidos pelas empresas dos serviços prestados.

A iniciativa GHG Protocol surgiu de uma parceria de negócios entre Organizações Não Governamentais (ONG), governos e outras entidades, reunidos pelo World Resources Institute (WRI) que é uma ONG ambiental sediada nos Estados Unidos da América, e pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD, do Inglês *World Business Council for Sustainable Development*), uma coligação de 200 empresas internacionais, sediada em Genebra. A missão desta parceria é desenvolver uma norma internacionalmente aceite de monitorização e comunicação das emissões de GEE ^[4]. O GHG Protocol fornece normas e diretrizes para empresas e outros tipos de organizações, que estejam a preparar inventários de emissões de GEE.

A metodologia utilizada pelo DEFRA, Departamento para o Ambiente, Alimentação e Assunto Rurais do Reino Unido (do inglês, *Department for environment, food and rural affairs*) determina a pegada carbônica de várias atividades, considera como GEE o CO₂, CH₄, N₂O e fornece os seus fatores de emissão específicos para o Reino Unido. As atividades consideradas são o consumo de combustíveis, consumo de água, produção e tratamento de resíduos (DEFRA, 2020) ^[5].

O Painel Intergovernamental sobre as mudanças climáticas (IPCC, sigla em inglês) foi criado em 1988 pela Organização de Meteorologia Mundial (WMO, Sigla em inglês) e pelo Programa das Nações Unidas para o meio ambiente (UNEP, Sigla em Inglês), tem o objetivo de fornecer aos governos em todos os níveis informações científicas que possam usar para desenvolver políticas climáticas. O IPCC está dividido em três grupos (*Working Group*): O *Working Group I* trata das bases das ciências físicas das mudanças climáticas, *Working Group II* trata dos impactos das mudanças climáticas, adaptação e vulnerabilidade e *Working Group III* da mitigação das mudanças climáticas ^[6].

A Agência Internacional de Energia, (IEA, sigla em inglês) é uma organização intergovernamental autônoma no âmbito da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), ela atua como orientadora política de assuntos energéticos para os seus países membros. A IEA está no centro do diálogo global sobre energia, fornecendo análises confiáveis, dados, recomendações de políticas e soluções do mundo real para ajudar os países a fornecer energia segura e sustentável para todos ^[7].

A Agência Europeia do Ambiente (EEA, sigla em inglês) é uma agência da União Europeia, que tem por missão fornecer informações sólidas e independentes sobre o ambiente. A EEA visa apoiar o desenvolvimento sustentável, ajudando a alcançar melhorias significativas e mensuráveis na Europa, através do fornecimento de informação atempada, orientada, relevante e fiável aos agentes decisores políticos e ao público ^[8].

O JRC (*Joint Research Centre*) *Tecnical reports* é um repositório de publicações, funciona como um centro de pesquisa europeu que oferece acesso à ciência de ponta para a comunidade científica em geral, do qual é atualizado diariamente. Os resultados de pesquisa incluem trabalhos publicados em revistas e atas de conferências internacionais, relatórios técnicos e outros resultados científicos internacionais ^[9].

1.4 Estado da Arte

Avaliação da pegada carbônica, até aos dias de hoje, ainda não é legislada sendo a sua contabilização uma atividade voluntária. A não existência de um padrão único pode resultar em empresas relatarem informações de emissões que não são comparáveis entre outras empresas, limitando assim a capacidade das partes interessadas de avaliar com precisão as diferenças no desempenho das mudanças climáticas. Assim sendo, devido à dificuldade em encontrar estudos análogos de instituições de ensino superior nacionais onde pretendia-se fazer comparações aos resultados finais. A presente dissertação considera, com base nas pesquisas, apenas algumas instituições internacionais cujo método é similar ou não ao utilizado neste trabalho.

Na tabela **1.2** estão representadas instituições de ensino superior que recorreram, tal como foi feito neste estudo, ao método de *GHG Protocol* e do qual também foi feito a separação das fontes de emissão por âmbito.

Tabela 1.2 - Comparação entre Instituições de ensino superior internacionais utilizando métodos similares.

Caso de estudo	Ano	PC (tCO _{2e})	Alunos + RH	PC (tCO _{2e} /capita)	Âmbito	Fonte de Emissão
Campus Talca, Universidade de Talca, Chile [10].	2016	5666	7869	0.72	1	Calor, Veículos, Refrigeração
					2	Eletricidade
					3	Viagens pendulares, viagens de investigadores, consumo de papel, Tratamento de resíduos
Instituto de Engenharia, Universidade Nacional Autónoma, México [11].	2010	1577	1080	1.46	1	Geração de energia elétrica, Veículos
					2	Eletricidade
					3	Viagens pendulares, viagens de aviões, Viagens de Barco, Consumo de papel, Tratamento de resíduos.
Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal (Resultados desta dissertação)	2017	9580	5946	1.61	1	Calor, Veículos, Refrigeração,
	2018	9486	6027	1.57	2	Eletricidade
	2019	9551	6180	1.55	3	Águas residuais, Viagens pendulares, viagens de investigadores, Alimentação, Tratamento de resíduos
Universidade de Clemson, EUA [12].	2014-2017	95 418	26 757	3.57	1	Calor, Refrigeração, Veículos, Aviões, Fertilizantes, Tratamento de água.
					2	Eletricidade
					3	Perdas de Distribuição e Transmissão de eletricidade, Viagens pendulares, Viagens de investigadores, Consumo de papel, outras operações (perdas de energia e fugas).
Universidade da Cidade do Cabo, África do Sul [13].	2008	84 925	21 231	4.00	1	Calor, Veículos, Tratamento da Água
					2	Eletricidade
					3	Viagens pendulares, viagens de investigadores, consumo de papel, Tratamento de resíduos

Através da tabela 1.3, fez-se uma análise de outro modo, agora incluindo outras instituições, mas normalizando o estudo para a população de estudantes, conforme citado em [12], só veio afirmar que a comparação entre elas é uma tarefa difícil uma vez que cada uma delas incorpora diferentes fontes de emissões e por vezes utilizam metodologias diferentes.

Tabela 1.3 - Comparação da Pegada Carbónica por estudante em diferentes Instituições de ensino superior.

Caso de estudo	Ano	Âmbito	PC total (tCO _{2e})	Número de estudantes	PC (tCO _{2e} /Estudante)
Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal (Resultados desta dissertação)	2017	1, 2 e 3	9580	5263	1.82
	2018	1, 2 e 3	9486	5383	1.76
	2019	1, 2 e 3	9551	5457	1.75
Instituto de Engenharia, Universidade Nacional Autónoma, México.	2010	1, 2 e 3	1577	581	2.7
Universidade de Tongji, China.	2009-2010	N/A	N/A	47 000	3.8
Universidade da Cidade do Cabo, África do Sul.	2007	1, 2 e 3	84 925	21 175	4.0
Universidade de Montford, Inglaterra	2008-2009	1, 2 e 3	51 080	21 585	2.4
Universidade de Rowan, EUA.	2007	1 e 2	38000	9600	4.0
Universidade de Clemson, EUA.	2014-2017	1, 2 e 3	95418	21857	4.4
Universidade de Castilla, La Mancha, Espanha.	2013	1, 2 e 3	23000	NA	2.13
Universidade de Ciências e Tecnologias, Noruega	2009	1, 2 e 3	92000	20000	4.6
Universidade de Leeds, Inglaterra	2010-2011	1, 2 e 3	161819	30761	5.3

N/A – *not available* (dado não disponível)

A análise realizada pela Universidade de Tongji para a contabilização da PC tem como base no dia-a-dia de cada estudante.

Capítulo 2 - Metodologia

O cálculo da PC tem como base os fatores de emissão em gCO_{2e} por quantidade de energia, material ou por distância percorrida, seguindo as abordagens de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e *Well-to-Wheels* (WTW, que em português quer dizer “Poço-à-roda”).

A técnica de ACV, que tem como processo de análise o *Cradle-to-grave* (CTG, que em português quer dizer do berço ao túmulo), é uma ferramenta de quantificação do impacto ambiental associado a um produto ou processo, que incide sobre todas as fases de ciclo de vida do mesmo, desde a extração ou produção da matéria-prima até ao seu processamento em fim de vida, passando pelas fases de transformação, transporte, distribuição, uso, manutenção ^[14]. Uma descrição esquemática da estrutura ACV baseada nos princípios da ISO 14040 é mostrada na Figura 2.1.

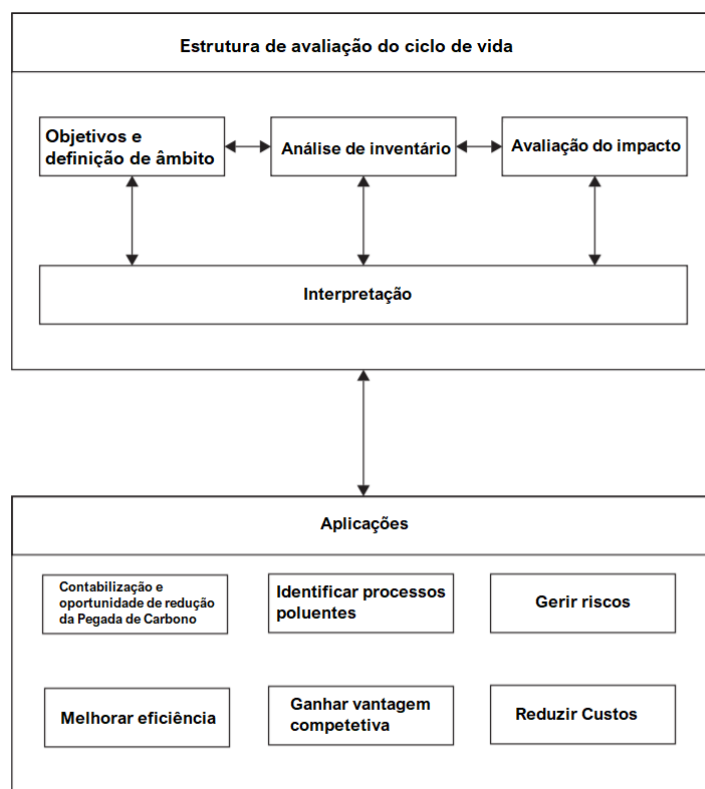


Figura 2.1 – Estágios e aplicações do método de avaliação do ciclo de vida. Adaptado: ISO 14040, 2006 ^[14].

A metodologia WTW é amplamente utilizada para apoio a políticas de transporte rodoviário. Pode ser visto como uma forma simplificada do ACV que dá enfoque ao consumo de energia e às emissões de CO_{2e} apenas para o combustível que está a ser consumido, ignorando outras etapas do ciclo de vida de um veículo ^[15]. WTW é a soma de dois métodos *Well-to-Tank* (WTT) e *Tank-to-Wheel* (TTW). WTT é um método utilizado para avaliar o impacto do combustível, que tal como a tradução para o português quer dizer “do poço ao tanque”, ou seja, são todos os GEE que são emitidos desde a produção do combustível até ao tanque de um posto de gasolina. TTW, em português “do tanque à roda”, são todos os GEE que são emitidos desde o tanque de um posto de gasolina até à combustão do combustível durante uma viagem do veículo.

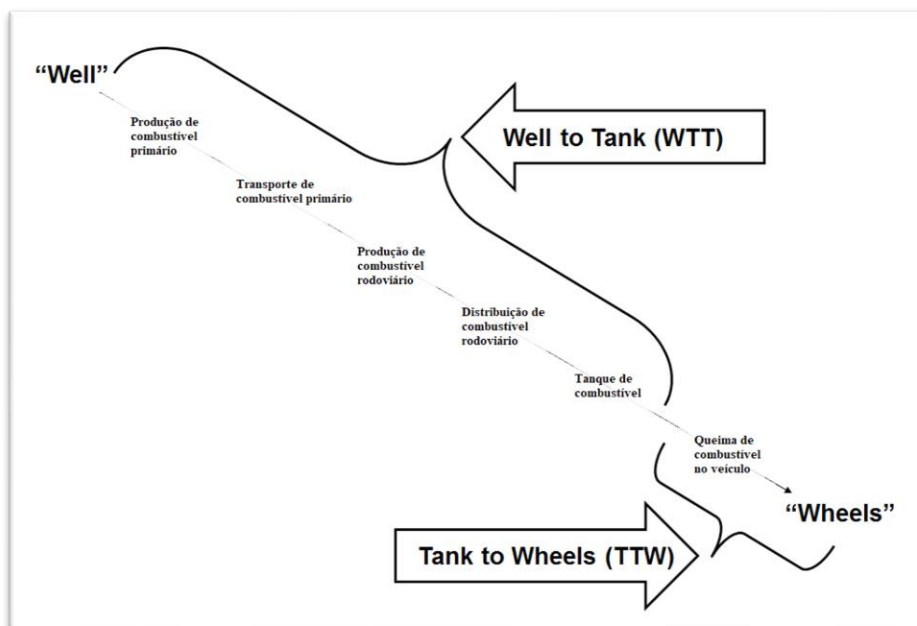


Figura 2.2 – Representação da metodologia WTW. Adaptado: JEC, 2016 [14].

Na tabela do Anexo A estão sumariados todos os fatores de emissão utilizados para a contabilização da PC, algumas atividades apresentam fatores de emissão mais específicos do que outras que são fatores de emissão mais genéricos. O critério de seleção dos fatores de emissão foi de modo a escolher o fator que mais se aproximava do inventário das atividades consideradas neste estudo, de modo a tentar diminuir os erros associados ao cálculo.

2.1 Identificação das Fontes de Emissão e definição de âmbito

Neste subcapítulo, através da análise das atividades ligadas à faculdade, foi possível segundo os métodos orientadores do GHG *Protocol* identificar as fontes emissoras dos gases prejudiciais ao ambiente e definir fronteiras do qual foi designado por Âmbito consoante ao tipo de emissão: diretas ou indiretas. As emissões diretas correspondem às emissões de GEE a partir de fontes que são controladas ou que pertencem ao universo FCUL. As emissões indiretas são consequência das atividades que podem ou não ser controladas pela FCUL. As emissões associadas ao uso de energia elétrica são uma categoria especial das emissões indiretas. Para muitas organizações/empresas, a eletricidade comprada representa uma das maiores fontes de emissões de GEE e a oportunidade mais significativa de reduzir essas emissões. A sua contabilização permite avaliar os riscos e oportunidades associadas às mudanças nos custos de eletricidade e emissões de GEE.

Ainda durante este processo de análise, identificou-se que para algumas fontes de emissão, tais como gases dos sistemas de refrigeração, viagens pendulares e viagens dos investigadores, não dispõe dados para os 3 anos do caso de estudo. Contudo, pelo peso que tem na contabilização das emissões, assumiu-se que os dados não variaram.

Tabela 2.1 – Identificação das fontes de emissão por âmbito seguindo as normas GHG Protocol.

Tipo de Emissão	Âmbito	Fonte de Emissão
Diretas	1	Consumo de Gás Natural
		Refrigeração
		Veículos da FCUL
Indiretas	2	Eletricidade
		Consumo da água
	3	Alimentação
		Viagens Pendulares Casa-FCUL
		Viagens de Investigadores
		Tratamento de RSU

2.2 Avaliação da Pegada

2.2.1 Âmbito 1

Emissões diretas de GEE a partir de fontes pertencentes à FCUL e controladas pela mesma.

2.2.1.1 Consumo de Gás Natural

Nesta secção estuda-se a emissão de GEE associados ao consumo do gás natural, maioritariamente para aquecimento dos edifícios foram fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade. O fator de emissão para o cálculo da PC do gás natural tem como base a seu peso específico e o poder calorífico (PCI) fornecidos pelo Despacho n.º 17313/2008 da Direção Geral de Energia e Geologia^[16], ou seja, é considerada apenas as emissões da combustão no momento do seu uso. Com o peso específico para o gás natural de 0.8404, o PCI considerado para a combustão de gás natural de 1.077 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por tonelada gás natural consumido e o FE associado ao seu consumo considerado foi de 2637.7 kgCO_{2e} por tep consumido.

$$PC_A(kgCO_{2e}) = \sum (Consumo_A \times \gamma \times PCI \times FE) \quad (2.1)$$

Em que, PC_A representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE do consumo de gás natural (kgCO_{2e}) no ano A, Consumo_A representa o consumo de gás natural total ao longo do ano A (m³); γ representa o peso específico (kg/m³); PCI é o poder calorífico inferior do Gás natural (tep/t) e o FE (kgCO_{2e}/tep) representa os fatores de emissão dos gases de efeito de estufa expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes por tonelada equivalente petróleo (tep).

2.2.1.2 Refrigeração

Nesta secção trata-se das emissões de GEE associados aos equipamentos dos sistemas de refrigeração do *campus* fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade. Nestes sistemas estão contidos gases que durante o seu tempo de vida são libertados e que são prejudiciais para a atmosfera. Na tabela (2.2) estão identificados os gases refrigerantes adquiridos pela faculdade nos anos do caso de estudo e os respetivos valores de Potencial de Aquecimento Global (PAG) fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente^[17].

Tabela 2.2 – Fatores de emissão associados aos gases refrigerantes, kgCO_{2e}/kg.

Gás Refrigerante	PAG
R32	675
R407C	1774
R410A	2088
R417A	2346

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,x}(kgCO_{2e}) = \sum (Carga_{A,x} \times PAG_x) \quad (2.2)$$

Em que, PC_{A,x} representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE do gás refrigerante κ no ano A (kgCO_{2e}), carga de gás A, κ representa quantidade de gás κ contido no equipamento (kg) no ano A e PAG_x é o potencial de aquecimento global para o gás refrigerante κ (kgCO_{2e}/kg).

2.2.1.3 Veículos da FCUL

A FCUL é proprietária de uma frota automóvel constituída por quatro automóveis, do qual três veículos são movidos a gasolina e um a gasóleo. Através do registo de quilometragem fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade foi possível estudar as emissões de GEE.

Através do apêndice número 2 do relatório de *Well-to Tank* publicado nos relatórios técnicos da JRC retiram-se os valores de 13.8 gCO_{2e}/MJ_{final}^[18] e 15.4 gCO_{2e}/MJ_{final}^[18], emissões de GEE por energia final da gasolina e do gasóleo, respetivamente. Multiplicando pela energia média por passageiro-quilómetro (MJ/p.km) de um veículo ligeiro, fornecido pelo IEA^[19], chegamos ao valor do fator de emissão WTT (gCO_{2e}/p.km) sumariado na tabela (2.3).

Tabela 2.3 - Fatores de emissão associados ao combustível utilizado pelos veículos da FCUL, kgCO_{2e}/p.km.

Combustível	WTT	TTW
Gasolina	24.8	150.0 ^(a)
Gasóleo	27.7	

Fonte: (a) IPCC wg3 [20]

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,c,m}(kgCO_{2e}) = \sum (FE_{A,c,m} \times distância) \quad (2.3)$$

Em que, PC_{A,C,m} representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE dos veículos movidos com combustível c pertencentes a FCUL no ano A (kgCO_{2e}) abordando o método m; FE_{A,C,m} representa o fator de emissão do combustível c utilizado no veículo no ano A abordando o método m (kgCO_{2e}/p.km); e distância representa a distância percorrida pelo veículo em km.

2.2.2 Âmbito 2

Esta categoria é especial das emissões segundo GHG *Protocol* por serem emissões indiretas de GEE, mas que podem ser controladas pela faculdade.

2.2.2.1 Eletricidade

Nesta secção trata-se das emissões de GEE associadas ao consumo de eletricidade do *campus* fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade. As emissões deste âmbito consistem nas emissões a montante da geração da eletricidade comprada. A tabela (2.4) diz respeito aos fatores de emissão resultante do *mix* energético de cada ano de estudo apresentadas pela Iberdrola, empresa contratada pela FCUL. No primeiro ano verifica-se um FE superior aos anos seguintes devido a uma maior taxa de queima de carvão nas centrais que ano após ano as energias de fontes renováveis e o gás natural foram “ganhando terreno”.

Tabela 2.4 – Fatores de emissão associadas às emissões de eletricidade, gCO_2e/kWh .

	2017	2018	2019
FE	487	379	379

Fonte: Iberdrola

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_A(gCO_2e) = \sum (Consumo_A \times FE_A) \quad (2.4)$$

Em que, PC_A representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE do consumo de energia elétrica (gCO_2e) no ano A, $Consumo_A$ representa o consumo de energia elétrica total ao longo do ano A (kWh); e o FE_A representa os fatores de emissão relativo ao *mix* energético do ano A (gCO_2e/kWh).

2.2.3 Âmbito 3

Emissões indiretas de GEE associadas a atividades que a faculdade não tem domínio.

2.2.3.1 Consumo da Água

A Faculdade de Ciências desde 2013 tem procurado ativamente aumentar a eficiência do uso da água potável fazendo identificação de fugas em condutas subterrâneas, a substituição progressiva destas condutas por outras instaladas à superfície, a redução progressiva da pressão nos circuitos de distribuição e à substituição progressiva, em lavabos, de torneiras em fim de vida por torneiras equipadas com sensor e a uma racionalização da rega. Em resultado deste tipo de intervenção, tem sido possível atingir, em média, uma taxa de diminuição da utilização de água potável de cerca de $3000m^3/ano$. A este esforço vai ter efeito na emissão dos gases poluentes associadas à utilização de água, ou seja, toda a água que chega a FCUL sofre um processo de tratamento para garantir uma boa qualidade de água para consumo e toda a água que não for consumida, água residual, é reencaminhada para a estação de tratamento para que ela seja recuperada e devolvida ao meio ambiente.

Neste estudo, os dados de consumo fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade, foi considerada que apenas 80% da água é residual, outros 20% foram utilizados para rega, cozinha e perdas. Durante os processos de tratamento da água existem emissões GEE que não podem ser omitidos. Na tabela (2.5) está sumariado os fatores de emissão do Abastecimento de água (proveniente da estação de tratamento de água – ETA) e das águas residuais (proveniente da estação de tratamento de águas residuais – ETAR).

Tabela 2.5 – Fatores de emissão associados ao processo de tratamento de água, kgCO_{2e}/m³.

ABASTECIMENTO DE ÁGUA	ÁGUAS RESIDUAIS
0.34 ^[10]	0.71 ^[10]

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,p}(kgCO_{2e}) = \sum (Consumo_A \times FE_p) \quad (2.5)$$

Em que, PC_{A,p} representa a pegada carbônica associada às emissões de GEE do consumo água (kgCO_{2e}) no ano A através do processo de tratamento p, Consumo_A representa o consumo de água total ao longo do ano A (m³); e o FE_p representa aos fatores de emissão do processo de tratamento p (kgCO_{2e}/m³).

2.2.3.2 Alimentação

Esta secção trata da emissão de GEE associados aos bens alimentares adquiridos para preparação de refeições em bares/cantinas ou para revenda do qual os dados foram fornecidos pela ATFCUL. A tentativa de escolher um fator de emissão através da análise do ciclo de vida de um produto alimentar específico é um trabalho difícil para a maioria dos produtos. Por essa razão, neste trabalho foram agregados todos os subprodutos com a mesma natureza alimentar para um único grupo, designado de produto. O critério de seleção dos fatores de emissão foi de modo a escolher o fator que mais se aproximava ao inventário.

Tabela 2.6 – Fatores de emissão associados ao consumo dos produtos de bens alimentares, kgCO_{2e}/kg ou kgCO_{2e}/L.

Produto	Subproduto	FE
Snack	Pastilhas/Rebuçados ⁽²²⁾	3.16
	Chocolate ⁽²²⁾	4.60
	Batata Fritas ⁽²¹⁾	0.44
	Nozes/amêndoas ⁽²³⁾	1.42
Mercearia	Bolo/Salgados ⁽²⁴⁾	2.48
	Fruta ⁽²³⁾	0.50
	Legumes ⁽²³⁾	0.47
Laticínios	Iogurtes ⁽²³⁾	1.43
	Ovos ⁽²³⁾	3.39
	Leite ⁽²³⁾	1.39
	Queijos ⁽²³⁾	8.86
	Gelados ⁽²⁵⁾	3.82
Carne	Bovina ⁽²³⁾	28.73
	Suína ⁽²³⁾	5.85
	Frango ⁽²³⁾	4.12
	Cabra ⁽²³⁾	27.91
	Mistura*	16.65
	Peixe ⁽²³⁾	4.41
Bebidas	Água ⁽²⁶⁾	0.16
	Refrigerantes ⁽²⁷⁾	0.25
	Cervejas ⁽²⁸⁾	0.84
	Vinho ⁽²⁹⁾	0.69

*média de todas as carnes

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,S}(kgCO_{2e}) = \sum (Produto_{A,S} \times FE_S) \quad (2.6)$$

Em que, $PC_{A,S}$ representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE de todos os produtos alimentares S ($kgCO_{2e}$) no ano A, $Produto_{A,S}$ representa a quantidade total do Produtos S total ao longo do ano A (kg ou L); e o FE_S representa os fatores de emissão relativo ao produto ($kgCO_{2e}/kg$ ou $kgCO_{2e}/L$).

2.2.3.3 Viagens Pendulares Casa-FCUL-Casa

Através dos resultados de um inquérito realizado em 2017 no âmbito da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente de *Henrique Calheiros (2020)* ^[35], no qual obteve uma taxa de 10% de resposta no universo FCUL, *Campus* do Campo Grande, considerando-se que é um valor representativo, nesta secção pretende-se estimar as emissões de GEE globais associadas às deslocações (alunos, professores, investigadores e funcionários não qualificados) do *campus*. O tipo de transporte utilizado por cada pessoa para fazer o seu trajeto diário tem grandes repercussões na quantidade emitida de GEE, visto que, em conjunto as emissões das viagens dos investigadores equivalem mais de 50% da PC da faculdade.

Tal como em 2.2.1.3, a contabilização das emissões é feita com abordagem do método WTW mas, pela falta de informação, algumas suposições foram necessárias. Assume-se, tal como expressa na equação (2.8), que cada indivíduo faz o mesmo trajeto de ida-volta, 5 dias por semana, 48 semanas por ano e utilizando os mesmos modos de transporte. Caso, no trajeto seja necessário mais que um modo de transporte, divide-se a distância pelo número de modos de transporte. Na tabela (2.7) está sumariada os FE utilizados no método WTT e TTW. Mais uma vez o FE do WTT teve em conta a energia média por passageiro-quilómetro (p.km) de cada modo, fornecido pelo IEA ^[24], que se multiplica às emissões de GEE por energia do combustível final.

Tabela 2.7 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo transporte utilizado $gCO_{2e}/p\text{-km}$.

Modo de transporte	WTT	TTW
Carro	26.3	150 ^[20]
Autocarro	10.2	80 ^[20]
Barco	22.8	87.5 ^[20]
Avião	27.0	170 ^[20]

O metro e o comboio têm uma contribuição nula do ponto de vista do TTW, no entanto as emissões da produção de energia elétrica que estes utilizam para mover as carruagens são contabilizadas no método WTT. Na tabela (2.8) estão representados os fatores de emissão em WTT, que com base nos dados da quantidade de GEE por energia elétrica (gCO_{2e}/kWh) fornecidos pela Agência Europeia do Ambiente, EEA ^[31]; e a energia Metro/Comboio por distância ($kWh/p\text{-km}$), IEA ^[32].

Tabela 2.8 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo de transporte elétrico em Portugal $gCO_{2e}/p\text{-km}$.

Modo de transporte	2017	2018	2019
Metro/Comboio	13.7	12.1	9.5

As equações seguintes calculam a PC associadas às viagens pendulares:

A Equação 2.7 diz respeito quando uma pessoa utiliza transportes como carro, autocarro, comboio, metro e bicicleta. As distâncias feitas a pé foram desprezadas caso se tenha utilizado mais do que um transporte principal.

$$PC_{A,T,m}(kgCO_{2e}) = \sum \left(\frac{1}{N_T} \times Commuting \times distância \times \sum FE_{A,T,m}, \right) \quad (2.7)$$

Sabendo, através do Google Maps, que a viagem realizada por meio do barco para a travessia do Tejo de uma margem para outra tem uma distância_{Barco} de 2.2 km, a equação 2.7.A é utilizada quando é incluída o barco como o modo de transporte no dia-a-dia.

$$PC_{A,T,m}(kgCO_{2e}) = \sum \left(\frac{1}{N_T} \times Commuting \times (distância - distância_{Barco}) \right. \\ \left. \times \sum FE_{A,T,m} + distância_{Barco} \times FE_{Barco} \right) \quad (2.7.A)$$

O transporte pedonal é considerado quando é apenas acompanhado com um transporte principal, normalmente o comboio e o metro. Para os indivíduos que optam por realizar a viagem de comboio é considerado que fazem viagem pedonal (distância_{T.Pedonal}) desde a estação de Entrecampos até ao *campus*, cerca de 1.6 km. E os que optam por viajar de metro é considerado que fazem viagem pedonal (distância_{T.Pedonal}) desde a estação da Cidade Universitária ou estação do Campo Grande até ao *campus* cerca de 700 metros.

$$PC_{A,T,m}(kgCO_{2e}) = \sum \left(Commuting \times (distância - distância_{T.Pedonal}) \right. \\ \left. \times \sum FE_{A,T,m} \right) \quad (2.7.B)$$

Em que, $PC_{A,T,m}$ representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE dos modos de transporte utilizados para fazer as viagens diárias no ano A ($kgCO_{2e}$) utilizando o método m; $FE_{A,T,m}$ representa os fatores de emissão do modo de transporte utilizado para as viagens diárias utilizando o método m no ano A ($gCO_{2e}/p\text{-km}$); N_T representa o número de transportes utilizados e distância representa a distância percorrida (km/viagem). Onde o *commuting* representa a frequência de viagens feita em um ano e é dado pela seguinte equação:

$$Commuting \left(\frac{viagem}{ano} \right) = 2 \frac{viagem}{dia} \times 5 \frac{dia}{semana} \times 48 \frac{semana}{ano} \quad (2.8)$$

2.2.3.4 Viagem de Investigadores

A investigação é uma atividade importante nas universidades e grande parte desta atividade é feita fora das portas da instituição. A FCUL tem 19 unidades de investigação e com abundância os investigadores fazem viagens não só a nível nacional, mas também a nível internacional.

Através do acesso aos resultados do inquérito realizado em 2019 no âmbito da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente da *Lyana Domingos (2021)* ^[33] foi possível fazer a

contabilização da PC e verificou-se que os trabalhos de pesquisa foram feitos pelos quatro cantos do mundo e foram utilizados os mais variados modos de transportes.

A informação defeituosa fez com que houvesse a necessidade em recorrer às estimativas das distâncias percorridas através de aplicações como a Google Maps ou a outras aplicações de medições de distâncias entre cidades. A tabela 2.9 demonstra exemplos de limitações encontradas no processo de análise dos dados.

Tabela 2.9 – Exemplo de dados fornecidos associada às viagens de investigadores.

Descrição	Exemplo
03 Janeiro 2019, Messejana, Manutenção e recolha de dados da estação sísmica digital, Carro próprio, 595 km, 0.36€/km	1
02-03 Janeiro 2019, Setúbal, Transporte de material de divulgação do projecto e apoio nas saídas de campo, Carro próprio	2
9 Janeiro 2019, Porto, Reunião na Fac. Engenharia da Univ. Porto, Comboio Lisboa-Porto-Lisboa	3
13-18 Janeiro 2019, Estocolmo, Suécia, Conferência "Spectral methods in mathematical physics", Comboio Estocolmo	4
14-18 Janeiro 2019, Heraclião, Creta, Grécia, SOCLIMPACT 2nd General Assembly, Táxi	5
25-01-2019 a 20-02-2019, Passagem Aérea Lisboa-Bissau-Lisboa	6
15-09-2019 a 21-09-2019, Passagem Aerea Lisboa-Frankfurt-Krakow-Munich-Lisboa; 15-09-2019 a 21-09-2019, Alojamento Krakow, Hotel Antica Reisence	7

O exemplo número 1 demonstra como seria uma análise mais acertada, visto que é fornecido pelo investigador a distância realmente percorrida. No exemplo 2, em uma viagem a nível nacional apenas foi identificado o destino final, assim recorreu-se ao Google Maps para estimar a distância de ida-volta com o ponto de partida – *campus* da FCUL. No Exemplo 3 mostra claramente que foi feita uma viagem de ida e volta, tal como o exemplo 2 recorre-se ao Google Maps. Os exemplos 4 e 5 indicam que o investigador esteve presente em uma dada cidade, mas não indicam origem-destino ou a distância percorrida, neste caso assumiu-se que o trabalho de pesquisa se localiza num raio de 20 km, entre o local hospedagem e local de pesquisa/reunião/conferência. Os 6 e 7 são exemplos da descrição de dados que indicam a utilização do transporte aéreo, onde recorreu-se à aplicação *online* "<https://pt.distance.to/>" que calcula a distância entre 2 cidades, onde os nomes das cidades são convertidos em coordenadas e é aplicada a fórmula de Harvensine – É a fórmula mais geral da trigonometria esférica.

Mais uma vez, para estimar as emissões de GEE associadas às viagens dos investigadores foi feita a abordagem no método WTW. Neste capítulo são utilizados os mesmos FE sumariados em 2.2.3.3 na tabela (2.7). Relativamente à estimativa das emissões dos transportes elétricos (metro/comboio), sumariados na tabela (2.10) foram calculados de forma semelhante aos dados descritos na tabela (2.8) de 2.2.3.3 porém para o panorama internacional.

Tabela 2.10 – Fatores de emissão associados ao combustível do modo de transporte elétrico em alguns países da Europa e o resto do mundo, gCO_{2e}/kWh e gCO_{2e}/p-km.

Países	gCO _{2e} /kWh			gCO _{2e} /p-km		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Suécia	13	13	8	0.51	0.51	0.31
Suíça	107	102	91	4.16	3.97	3.54
Itália	263	248	233	10.23	9.65	9.06
Alemanha	424	406	338	16.49	15.79	13.15
Bélgica	177	207	167	6.88	8.05	6.49
Reino Unido	264	250	228	10.27	9.72	8.87
Finlândia	99	111	86	3.85	4.32	3.34
Dinamarca	176	189	126	6.84	7.35	4.90
Espanha	305	276	207	11.86	10.73	8.05
Áustria	107	102	91	4.16	3.97	3.54
Holanda	459	441	390	17.85	17.15	15.17
França	69	54	52	2.68	2.10	2.02
Grécia	658	662	598	25.59	25.75	23.26
Hungria	264	251	212	10.27	9.76	8.25
República Checa	453	445	431	17.62	17.31	16.76
Portugal	353	310	244	13.73	12.06	9.49
Noruega	19	19	19	0.74	0.74	0.74
Resto do mundo*	248	240	207	9.63	9.35	8.06

*média de todos os países

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,T,m}(kgCO_{2e}) = \sum (FE_{A,T,m} \times distância) \quad (2.9)$$

Em que, PC_{A,T,m} representa a pegada carbónica associada às emissões de GEE dos modos de transporte T utilizados para fazer as viagens no ano A (kgCO_{2e}) utilizando o método m; FE_{A,T,m} representa os fatores de emissão do modo de transporte T utilizado para as viagens utilizando o método m no ano A (kgCO_{2e}/p.km); e distância representa a distância percorrida (km/viagem).

2.2.3.5 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A Faculdade de Ciências assume um papel ativo na preservação de um meio ambiente saudável através da aplicação de boas práticas ambientais, da transferência de conhecimento nessa área e da sensibilização de colaboradores, alunos e visitantes. Uma correta gestão dos resíduos é, para além de uma imposição legal, uma obrigação de uma Escola de Ciências. Tem sido possível aumentar a percentagem de resíduos enviados para reciclagem através da colocação de ecopontos exteriores em zonas estratégicas do *campus* e, ainda, recorrendo à colocação de pequenos ecopontos no interior dos edifícios.

Para estimativa das emissões associados aos resíduos produzidos no *campus* foram feitas com base nos dados fornecidos pelo gabinete de sustentabilidade da FCUL que inicialmente foram separados conforme a Lista Europeia de Resíduos, LER, publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, que altera a decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, referida no artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro ^[34].

Na tabela 2.11 estão representadas os FE do qual seguem uma abordagem *Craddle-to-Grave*, é uma avaliação completa do ciclo de vida do produto. Esta técnica pode ser dividida em 2 estágios do ciclo, o *Craddle-to-Gate* (kgCO_{2e}/t) - é uma avaliação de um ciclo de vida parcial do produto desde a extração de recursos até à porta da fábrica (ou seja, antes de ser transportado para o consumidor); e *Gate-to-Grave* (kgCO_{2e}/t) - é uma avaliação de um ciclo de vida parcial do produto desde o seu transporte da fábrica até ao fim de vida do produto ^[19]. Neste estudo, deu-se preferência, sempre que possível fazer a avaliação completa, mas pela escassez de informação utiliza-se apenas a aproximação do *Gate-to-Grave* para alguns dados.

Tabela 2.11 – Fatores de emissão associados aos resíduos produzidos, kgCO_{2e}/t.

Tipo de operação	Tipo de resíduo	Cradle-to-gate	Gate-to-Grave
R13	Papel/Cartão	853.57	21.32
	Lâmpadas	9805.00	
	Pilhas/Acumuladores	12119.21	
	Resíduos de Equipamentos eletrônicos	1148.42	
	Plástico	3116.29	21.32
	Madeira	312.61	
	Metais	5204.56	
	Vidro	843.00	
	Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	-	10.20
	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	-	21.32
	Resíduos urbanos e equiparados	1148.42	
D15	Gases de recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso	-	
	Materiais hospitalares	-	
	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	-	21.32
	Óleos sintéticos usados	-	
	Resíduos urbanos e equiparados	1148.42	

O tipo de operação sugere que o resíduo sofreu um processo de valorização no processo de fim de vida ou não. Tipo de operação R13, código R de valorização, indica que o resíduo é reciclado e D15, código D de eliminação, o resíduo pode ser encaminhado para a incineração ou aterro.

O cálculo da PC foi feito a partir da equação seguinte:

$$PC_{A,R,m} (kgCO_{2e}) = \sum (\text{Resíduo} \times FE_{A,R,m}) \quad (2.10)$$

Em que, PC_{A,R,m} representa a pegada carbônica associada às emissões ao tratamento do Resíduo R no ano A (kgCO_{2e}) utilizando o método m; Resíduo representa a quantidade do tipo de resíduo tratado em toneladas (t); FE_{A,R,m} representa o fator de emissão do resíduo R tratado utilizando o método m no ano A (kgCO_{2e}/t).

Capítulo 3 – Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados do estudo, primeiramente serão apresentados por fonte de emissão, expondo a evolução de cada produto em cada ano de estudo, e no final uma apresentação global dos dados finais no capítulo 4, junto a discussão dos resultados. Os resultados mostram-nos além do objetivo proposto, dizem muito sobre o comportamento das fontes e pessoas no universo do estudo.

3.1 Consumo de Gás Natural

Como foi referido no capítulo anterior, o gás natural é utilizado maioritariamente para o aquecimento das instalações. Retiramos que, com base nos dados do Gráfico 3.1, o consumo é mais acentuado nos blocos C6 e C8, com uma tendência cada vez maior ao longo dos anos. O consumo do gás no edifício C7 tem como finalidade a preparação da comida no refeitório e bares. Na tabela 4.1 podemos ver as emissões de GEE proveniente desta fonte.

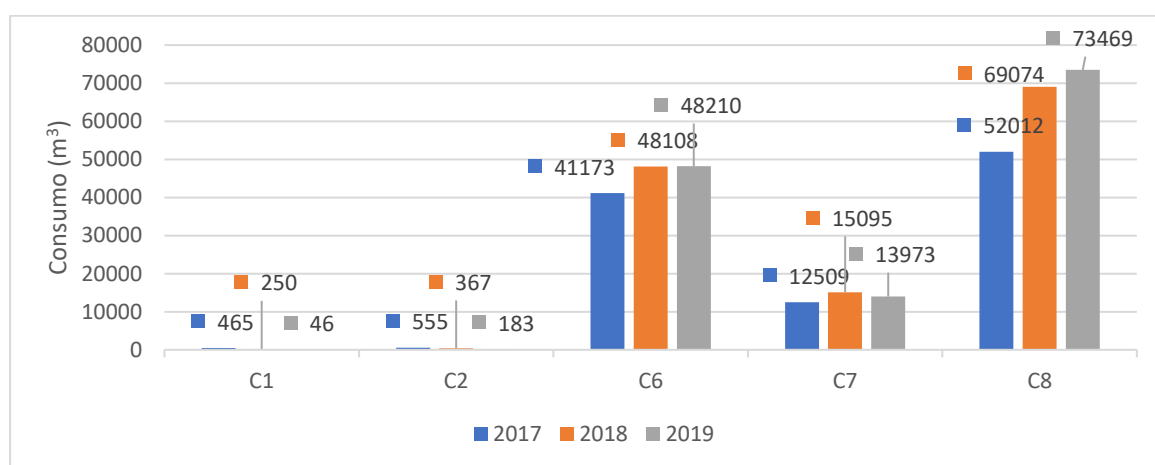


Gráfico 3.1 – Consumo anual de gás natural nos edifícios da FCUL para os anos de estudo.

Os edifícios C1 e C2 têm um consumo bastante reduzido comparativamente aos restantes por serem melhores isoladores térmicos.

3.2 Refrigeração

A análise dos dados emissões associadas aos gases refrigerantes foram considerados equipamentos de ar condicionado, bombas de calor e equipamentos de refrigeração. A estimativa das emissões de GEE do uso dos gases refrigerantes apesar de terem sido calculados com base dos dados do ano 2019, supondo que as quantidades de recarregamento não variaram, pela observação do gráfico 3.2, ressalta-nos que a utilização do gás R410 tem um impacto no aquecimento global (enorme por ser uma mistura), ao contrário, do gás R32 (um gás puro) que tem um menor impacto. Apesar dos outros 2 gases adquiridos terem um PAG elevado, a quantidade que é requisitada não é alarmante para as contas finais.

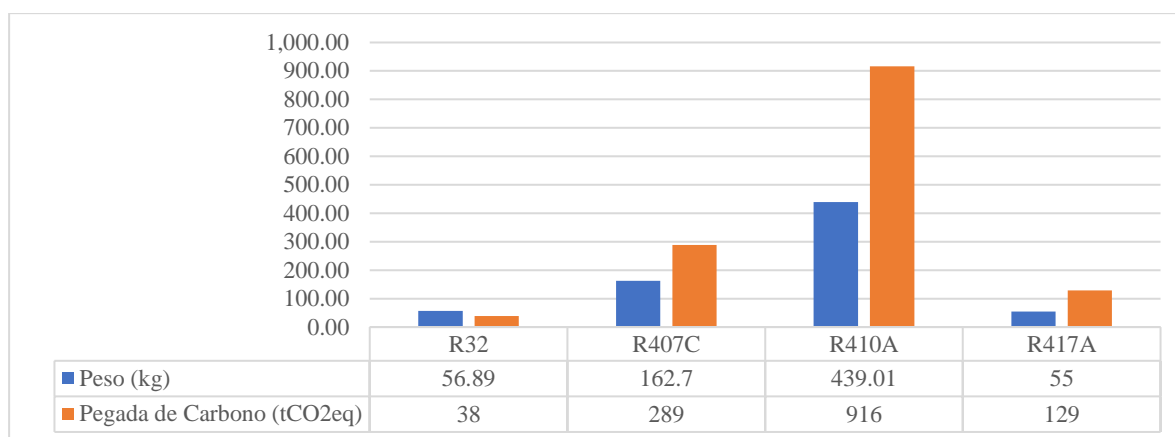


Gráfico 3.2 – Recarga anual dos gases refrigerantes.

3.3 Veículos da FCUL

Na análise da frota automóvel da FCUL, não há dados que mostram o ano em que os veículos foram mais requisitados, mas verificou-se que no ano 2018 percorreu-se uma maior distância, consequentemente houve mais emissões associadas, para um total de 2963 km, 5749 km e 2759 km de distância percorridos, nos anos 2017, 2018 e 2019 respetivamente. Dos dados obtidos retém-se também que cerca de 15% das emissões são emitidas na fase de produção do combustível, ou seja, na fase WTT.

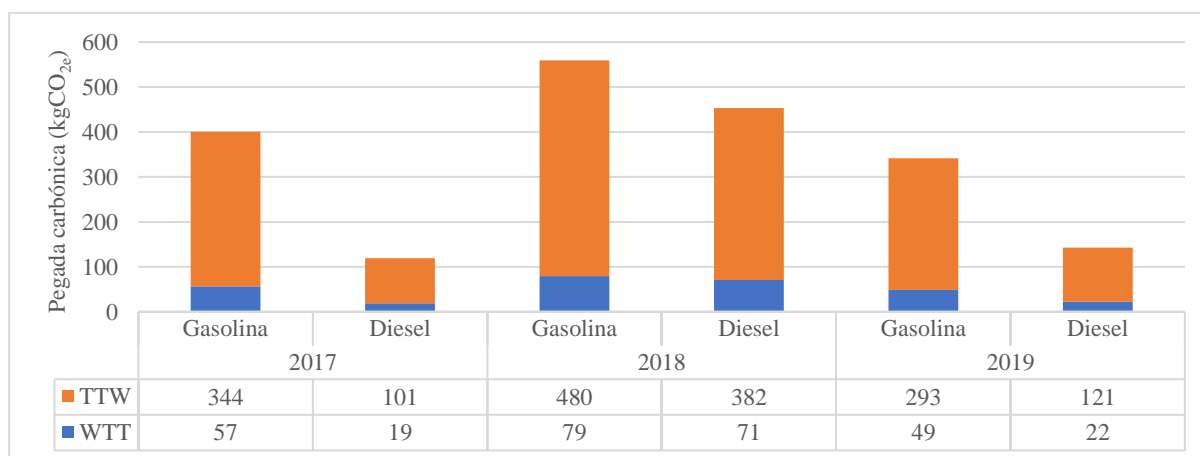


Gráfico 3.3 – Pegada carbónica associada à frota da FCUL consoante o combustível utilizado.

3.4 Eletricidade

O consumo de eletricidade não teve variação significativa ao longo dos anos, verificando-se uma pequena oscilação no consumo, mas que resultou numa diferença insignificante nas emissões de GEE.

Tabela 3.1 – Pegada Carbónica associada ao consumo de Eletricidade.

	2017	2018	2019
Energia consumida (GWh)	5.17	5.45	5.44
Pegada carbónica (tCO_{2e})	2516	2064	2060

3.5 Consumo da Água

O consumo da água anual não variou significativamente ao longo dos anos de estudo, consequentemente a Pegada Carbónica permaneceu constante.

Tabela 3.2 – Pegada Carbónica associado ao consumo de água.

Ano	Consumo (m ³ /ano)	Pegada Carbónica (tCO _{2e})		Pegada Carbónica total (tCO _{2e})
		Antes	Depois	
2017	44379	15	25	40
2018	44292	15	25	40
2019	44292	15	25	40

3.6 Alimentação

Na análise deste tópico podemos tirar algumas conclusões sobre a dieta da população FCUL. Nos anos de estudo verifica-se que a Carne foi a maior fonte de emissão associado aos produtos de bens alimentares adquiridos não pela quantidade que é consumida, mas pela energia que é despendida durante o seu ciclo de vida. Esta comunidade tem preferência no consumo dos produtos da Mercearia, tais como bolos/salgados, fruta ou legumes, o segundo grupo de maior expressão, onde cerca de 80% das emissões relacionada a este grupo provém dos bolos/salgados.

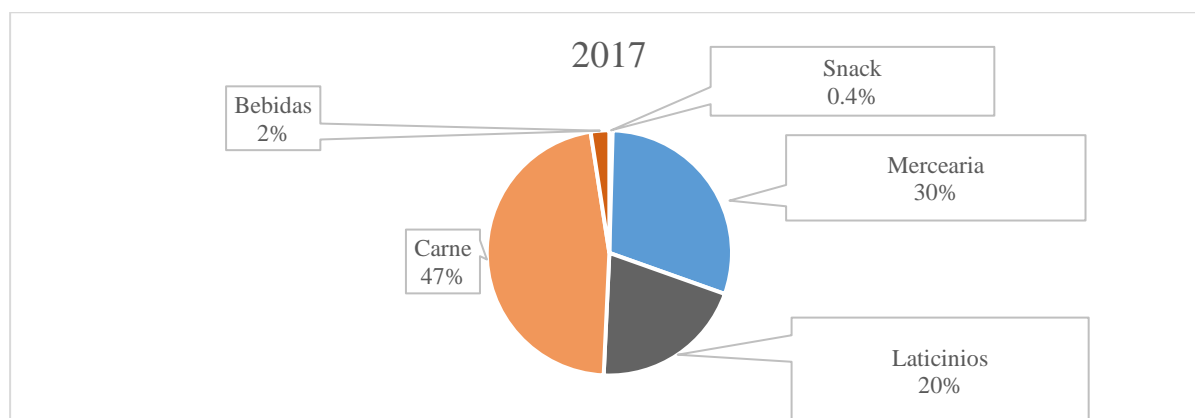


Gráfico 3.4 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2017.

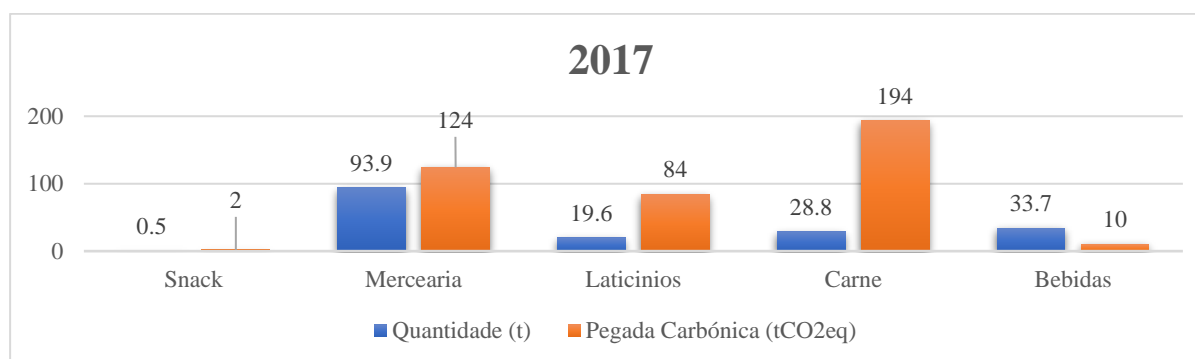


Gráfico 3.5 – Quantidade e Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2017.

Nos anos seguintes, comparativamente ao ano de 2017 tem havido uma diminuição da aquisição de Carne consequente da diminuição do consumo. A mercearia também sofreu uma diminuição substancial em 2018, mas volta a subir em 2019.

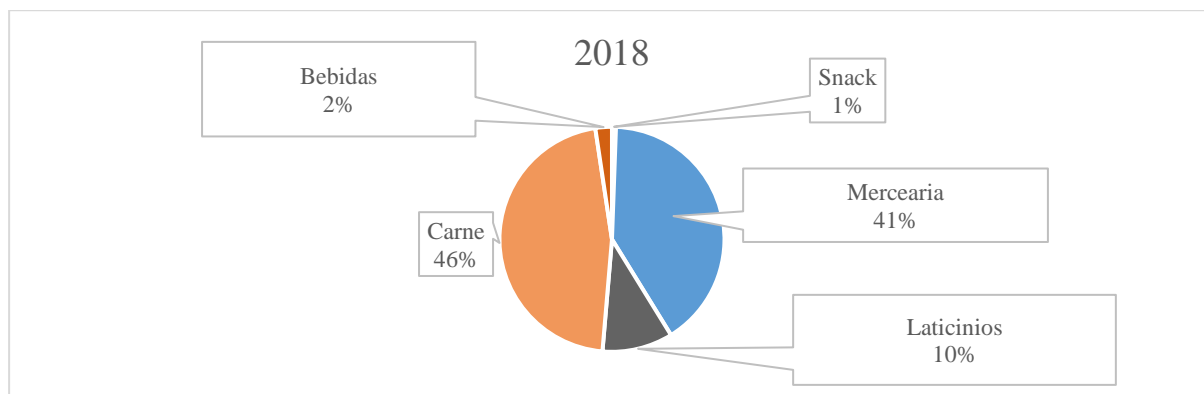


Gráfico 3.6 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2018.

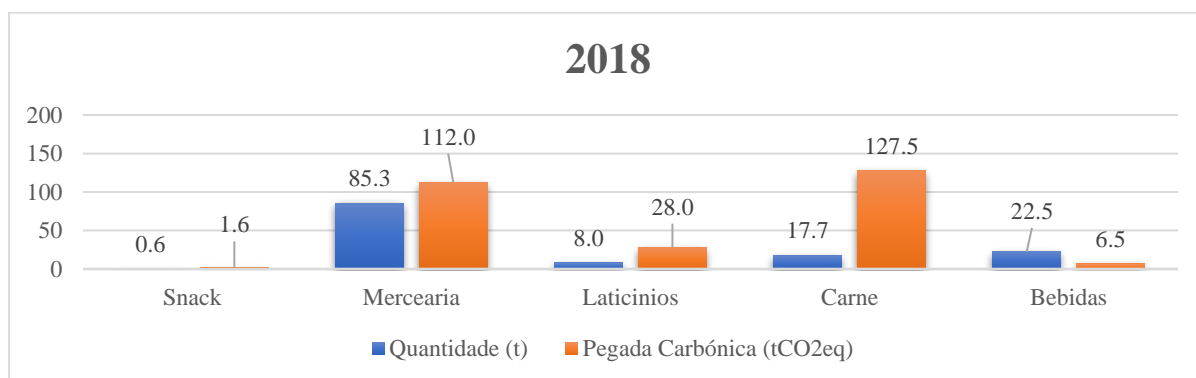


Gráfico 3.7 – Quantidade e Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2018.

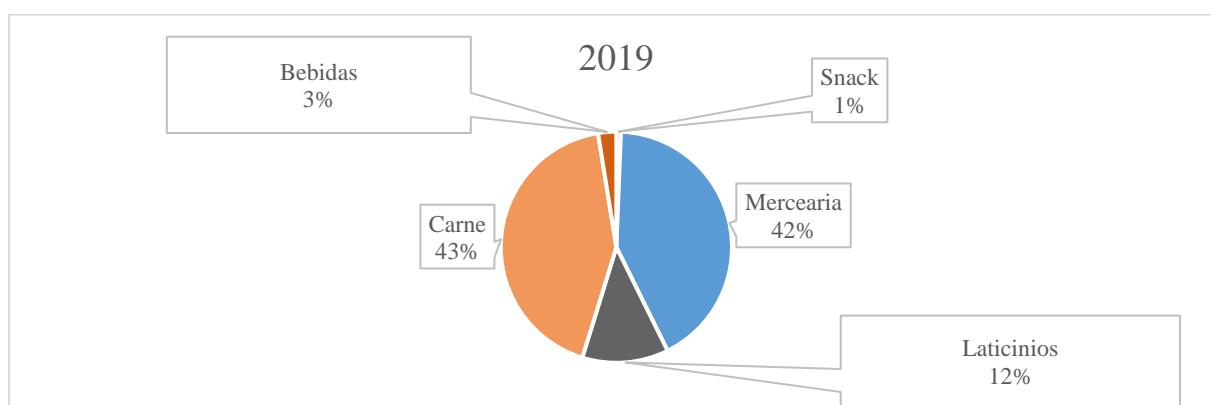


Gráfico 3.8 – Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2019.

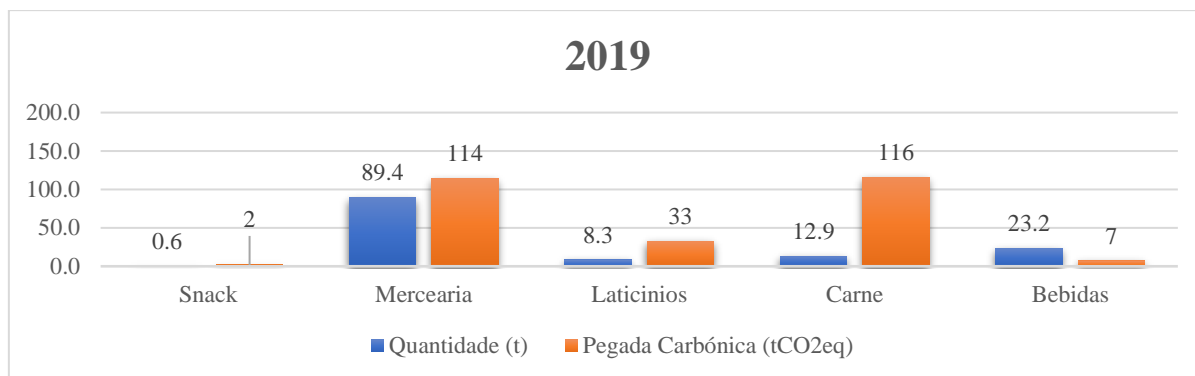


Gráfico 3.9 – Quantidade e Pegada Carbónica associada à alimentação no ano 2019.

Através do gráfico **3.10**, no geral, verifica-se uma diminuição da pegada carbónica ao longo dos anos em consequência da diminuição das quantidades requisitadas. A par da diminuição drástica da emissão de GEE provenientes da carne, também se verificou para os produtos lácteos e das bebidas, em que a diminuição foi devida às reduções da aquisição de cerca 11 toneladas de cada produto face ao ano 2017.

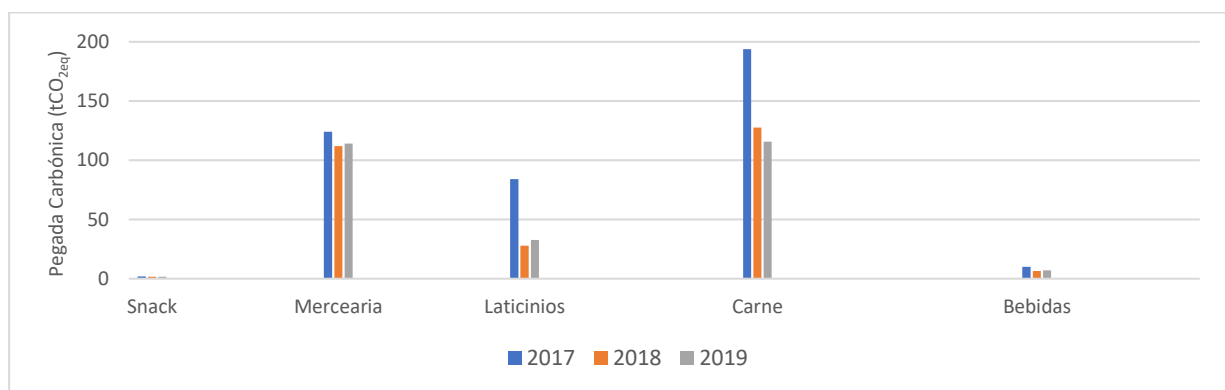


Gráfico 3.10 – Evolução da aquisição dos bens alimentares ao longo dos anos de estudo.

3.7 Viagens Pendulares Casa-FCUL-Casa

A viagem feita de casa para o *campus* é realizada através dos mais variados modos de transporte, desde o privado ao público. No estudo, através dos inquéritos realizados, verificou-se que o transporte público (TP) é a modalidade que é utilizada com maior frequência pela comunidade (com maior uso por parte dos estudantes) e em seguida o transporte privado, o veículo ligeiro de passageiros (mais utilizada pelos professores e investigadores).

Foi possível também estudar o comportamento da comunidade em relação à distância percorrida por modo de deslocação feito, tabela 3.3, e consequentemente a Pegada Carbónica *per capita* resultante desta atividade tal como se pode constatar na tabela 3.4. Normalizando os valores para o total da comunidade referente a cada ano, como pode-se observar no gráfico 3.11, retiramos que cerca de 80% da pegada carbónica associada às viagens diárias resulta da combustão directa do combustível para fazer mover o veículo e 20% são as emissões relacionadas à produção do combustível.

Tabela 3.3 – Distância total percorrida por modo de transporte.

Modo de transporte	Distância total percorrida diariamente (km)
Carro	3077
Autocarro	2593
Metro	2206
Comboio	1531
Barco	40
A pé	34
Bicicleta	6

Tabela 3.4 – Pegada carbónica per capita resultante do inquérito da FCUL (10% taxa de resposta).

Pegada Carbonica [tCO _{2e} /capita]	
TTW	0.58
WTT	0.09

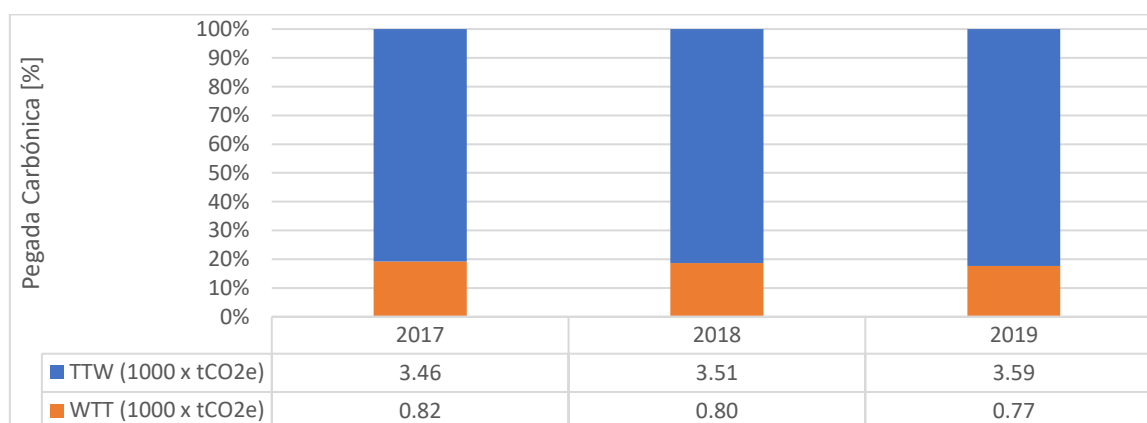


Gráfico 3.11 – Pegada carbónica associada às viagens pendulares da comunidade FCUL.

No gráfico seguinte conseguimos fazer comparação entre o uso do serviço privado e o público. Como foi referido em cima, apesar do transporte público ser em larga escala o serviço mais utilizado, as emissões do veículo privado conseguem superar as emissões do TP. A distância percorrida pelo veículo ligeiro de passageiros são cerca de 1.4 milhões km anuais. O TP e os modos suaves (transporte pedonal e bicicletas), juntos, somam mais do dobro, cerca de 3 milhões de km anuais. Assim os resultados mostram-nos que o carro privado mesmo percorrendo metade da distância do resto dos transportes, ela é responsável por mais de 65% das emissões associadas às viagens do nosso dia-a-dia (gráfico 3.12).

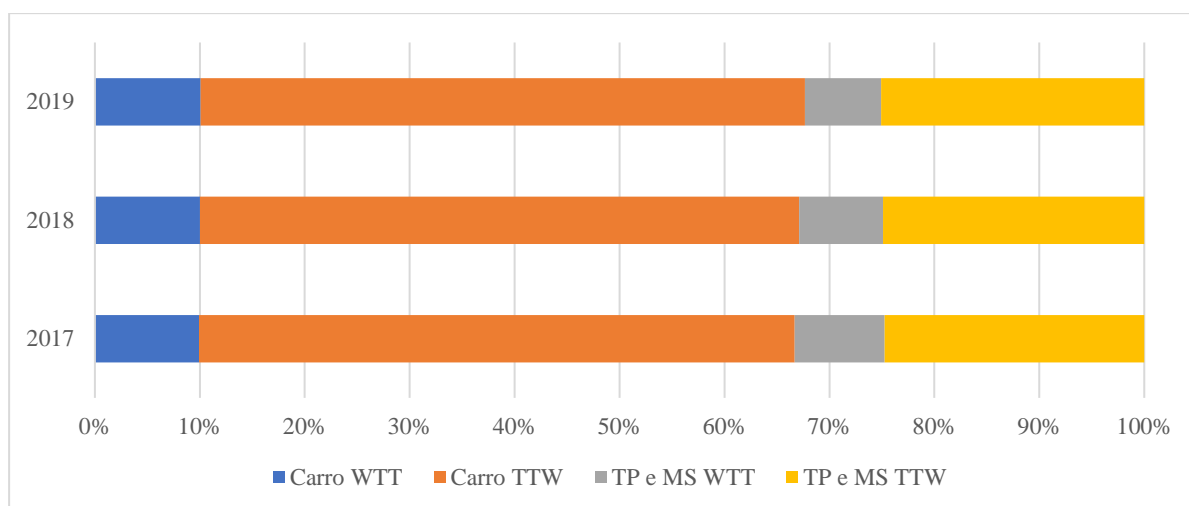


Gráfico 3.12 – Comparação, em percentagem, da emissão entre veículos privados (Carro) e Transportes públicos/Modos suaves (TP e MS).

3.8 Viagens dos Investigadores

Docentes/investigadores da FCUL são convidados a participarem em muitas atividades científicas como *workshops*, conferências ou apenas para recolhas de amostras de pesquisas. O tipo de meio de deslocação e distâncias totais percorridas estão representados no gráfico 3.13. O resultado das distâncias percorridas pelo avião foi considerado um *outlier* por somar um total de 2 906 101 km.

O carro, depois do avião, foi o transporte que mais distância percorreu. As viagens foram na maioria em território nacional, e foram feitas com veículo próprio. O cálculo da pegada carbónica do táxi foi estimado com base nos fatores de emissão de um veículo passageiro normal.

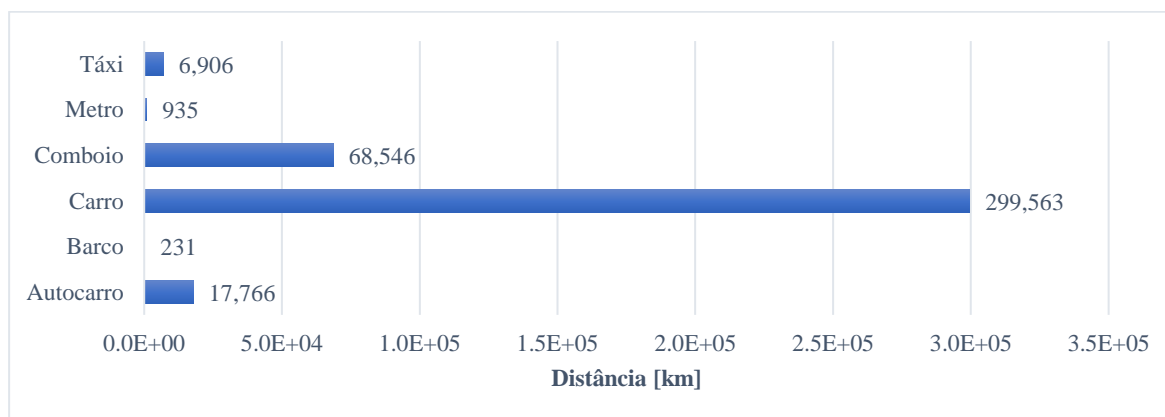


Gráfico 3.13 – Distância percorrida por modo de transporte associadas às viagens dos investigadores em 2019.

As emissões da produção do combustível variam entre 10 a 20% das emissões totais de cada modo de transporte, somente os veículos elétricos (comboio e o metro) as suas emissões são da total responsabilidade da fase de produção energia elétrica (gráfico 3.14).

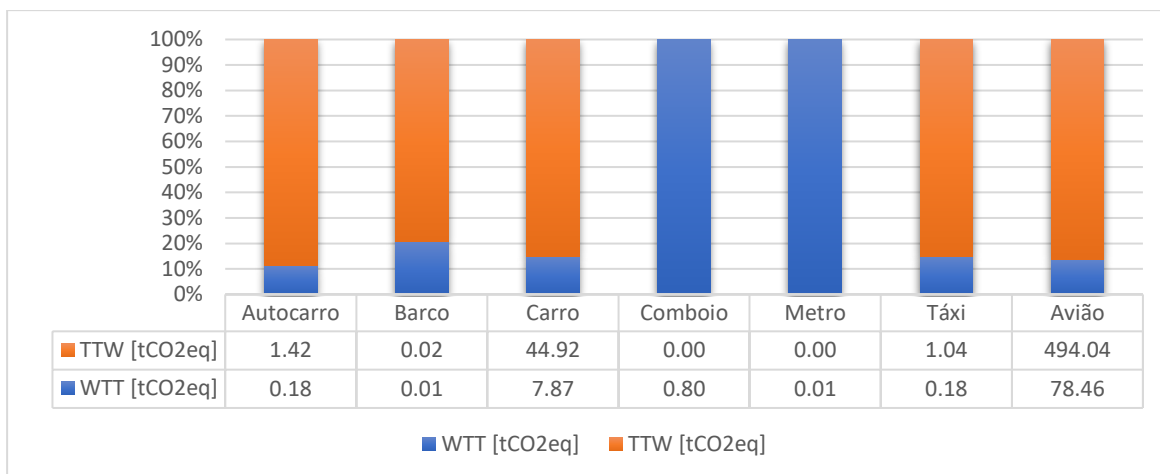


Gráfico 3.14 – Pegada carbónica associada às viagens dos investigadores por modo de transporte.

As emissões geradas pelo transporte aéreo são responsáveis por cerca de 91% das emissões das viagens dos investigadores, o carro representa 8% e os restantes estão englobados no 1% da PC.

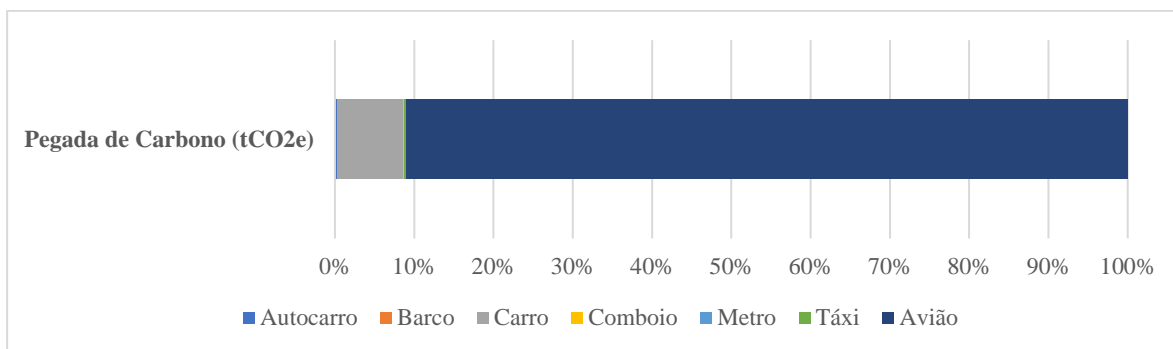


Gráfico 3.15 – Peso das Pegadas de Carbono por tipo de modo de transporte utilizado pelos docentes/investigadores.

A Figura 3.1 é uma ilustração que permite mostrar a quantidade de GEE emitida pela nossa comunidade nos 4 cantos do mundo. Com emissões indiretas de GEE maiores na Europa, por ter sido o continente onde ocorreu maior atividade científica, e menores na Oceânia.

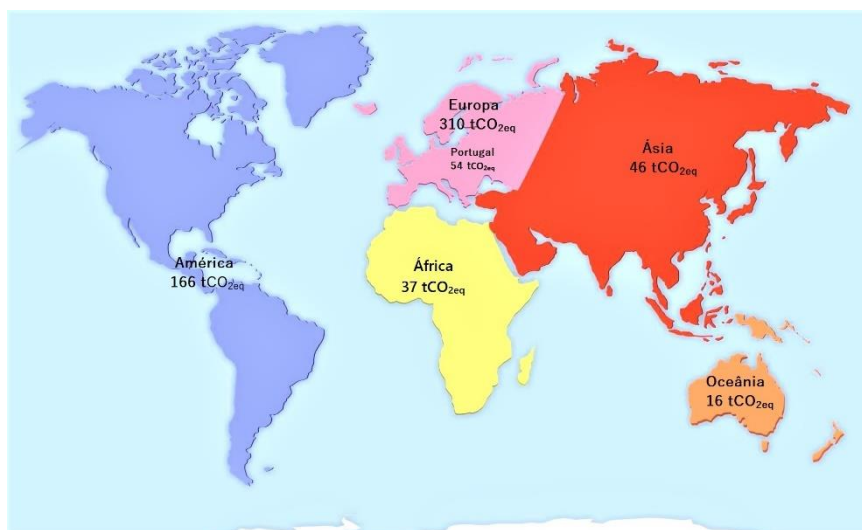


Figura 3.1 – Pegada carbónica gerada no espaço internacional associadas às viagens dos investigadores da FCUL.

3.9 Tratamento de RSU

No estudo do tratamento dos resíduos, a quantidade dos resíduos verificou-se um aumento ao longo dos anos, não pelo aumento global dos resíduos produzidos no *campus*, mas pelo aumento da fração de resíduos que se consegue encaminhar para empresas de gestão licenciada. Através das políticas ambientais e colocação de ecopontos em pontos estratégicos no espaço FCUL, verificou o salto dado no ano 2017 para os anos 2018 e 2019; de 21 toneladas para 405 toneladas e 411 toneladas de resíduos, respetivamente.

As tabelas 3.5, 3.6 e 3.7 demonstram a pegada carbónica e as quantidades para cada resíduo produzido seguindo a metodologia em 2.2.3.4.

Tabela 3.5 – Pegada carbónica associada ao tipo de resíduo em 2017.

Tipo de operação	Tipo de resíduo	Quantidade (t)	Pegada carbónica (tCO _{2e})
R13	Papel/Cartão	9.85	8.62
	Lâmpadas	0.12	1.21
	Pilhas/Acumuladores	0.06	0.76
	Resíduos de Equipamentos eletrónicos	3.14	3.67
	Plástico	0.16	0.50
	Madeira	1.29	0.43
	Metais	1.29	6.74
D15	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	2.27	1.04
	Resíduos de indústria fotográfica	0.01	0.01
	Gases de recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso	0.15	0.07
	Materiais de isolamento contendo amianto	0.0010	0.0005
	Materiais hospitalares	2.65	1.21
	Resíduos urbanos e equiparados	0.01	0.01

Tabela 3.6 – Pegada carbônica associada ao tipo de resíduo em 2018.

Tipo de operação	Tipo de resíduo	Quantidade (t)	Pegada carbônica (tCO _{2e})
R13	Papel/Cartão	54.15	47.37
	Lâmpadas	0.11	1.07
	Pilhas/Acumuladores	0.06	0.77
	Resíduos de Equipamentos eletrônicos	3.74	4.37
	Plástico	12.85	40.30
	Madeira	1.36	0.45
	Metais	2.82	14.74
	Vidro	12.10	10.46
	Óleos sintéticos usados	0.09	0.002
	Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	55.30	0.56
	Resíduos urbanos e equiparados	0.18	0.211
D15	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	2.49	1.14
	Gases de recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso	0.44	0.20
	Materiais hospitalares	6.05	2.77
	Resíduos urbanos e equiparados	253.43	296.44

Tabela 3.7 -Pegada carbônica associada ao tipo de resíduo em 2019.

Tipo de operação	Tipo de resíduo	Quantidade (t)	Pegada carbônica (tCO _{2e})
R13	Papel/Cartão	45.17	39.52
	Lâmpadas	0.22	2.16
	Pilhas/Acumuladores	0.09	1.08
	Resíduos de Equipamentos eletrônicos	3.43	4.02
	Plástico	12.92	40.52
	Madeira	1.26	0.42
	Metais	3.89	20.33
	Vidro	24.20	20.92
	Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	55.30	0.56
	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	0.99	0.02
	Resíduos urbanos e equiparados	0.94	1.10
D15	Gases de recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso	0.40	0.18
	Materiais hospitalares	6.17	2.82
	Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos	2.80	1.28
	Óleos sintéticos usados	0.25	0.12
	Resíduos urbanos e equiparados	253.40	296.41

Os gráficos 3.16 e 3.18 representam a evolução das quantidades de resíduos nos 3 anos e os gráficos 3.17 e 3.19 representam a PC dos resíduos. A partir de 2018 o aumento da reciclagem resultou em um aumento do papel cerca de 6 vezes, do plástico 80 vezes, metais aumentaram 3 vezes e o vidro o dobro. Resíduos Urbanos Equiparados (maioritariamente “monstros”) e materiais hospitalares, cerca de 25 000 e 3 vezes mais, respetivamente, fazem parte da operação de eliminação, mas que se tem tentado valorizar cada vez mais.

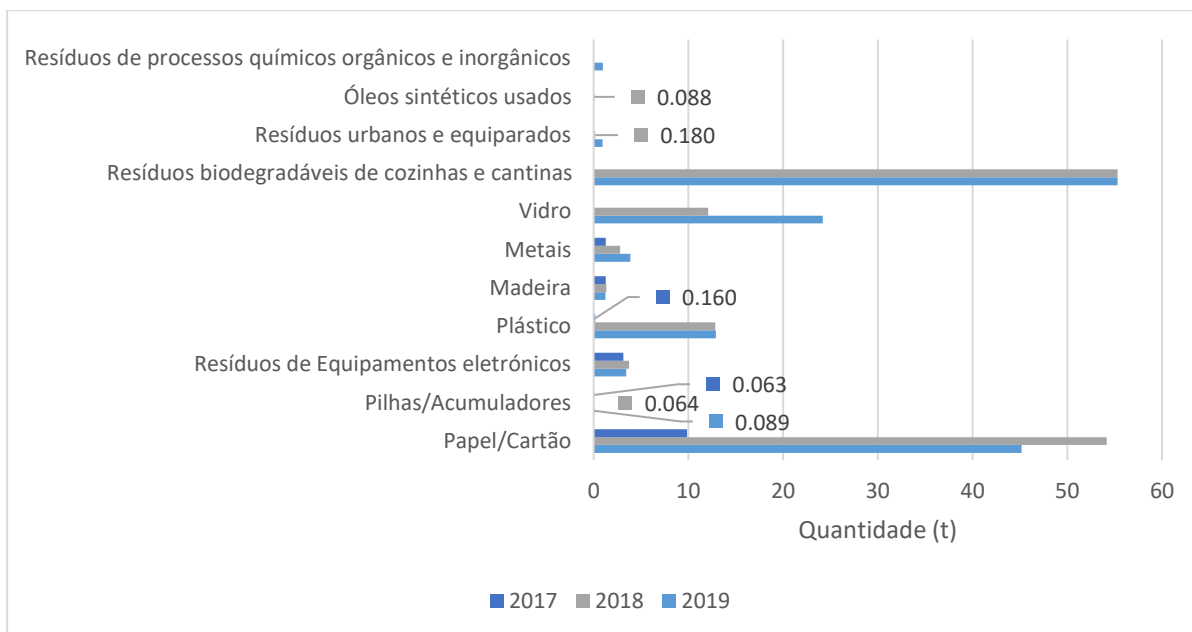


Gráfico 3.16 – Evolução da quantidade de resíduos valorizados (R13) ao longo dos anos de estudo.

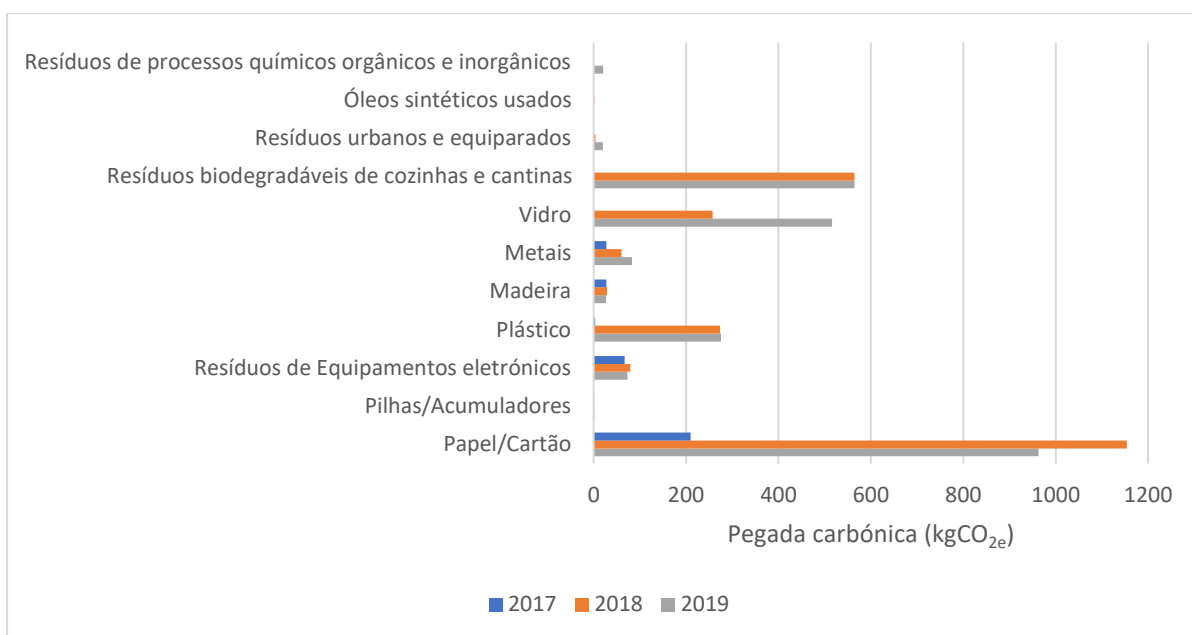


Gráfico 3.17 – Evolução da Pegada carbônica dos resíduos valorizados (R13) ao longo dos anos de estudo.

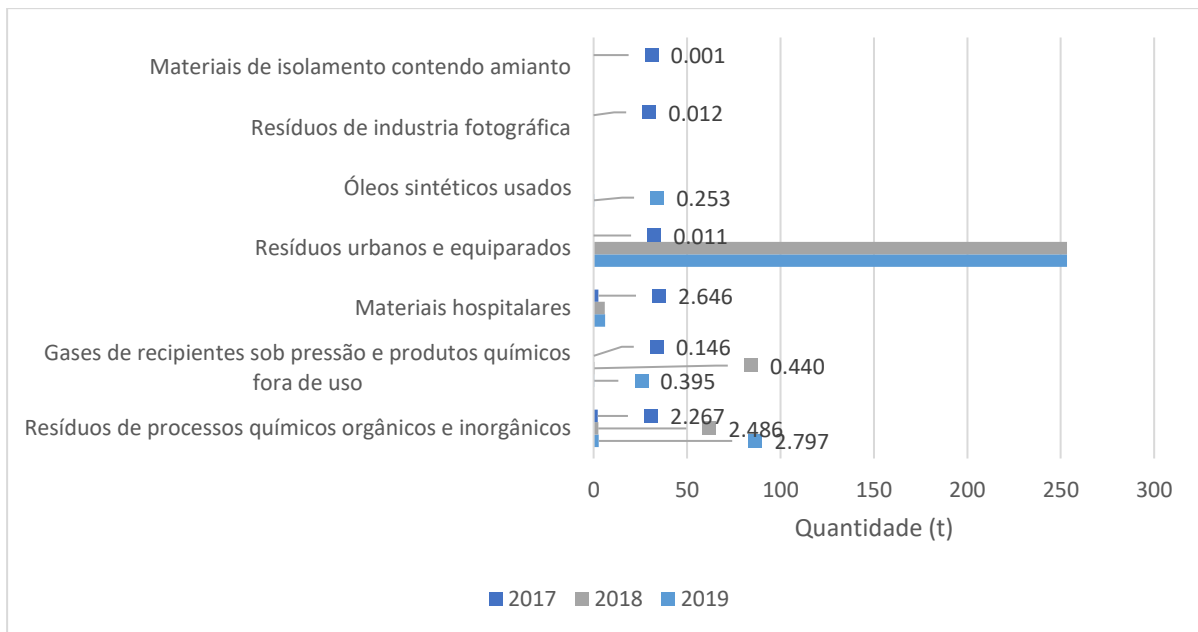


Gráfico 3.18 – Evolução da quantidade de resíduos para eliminação (D13) ao longo dos anos de estudo.

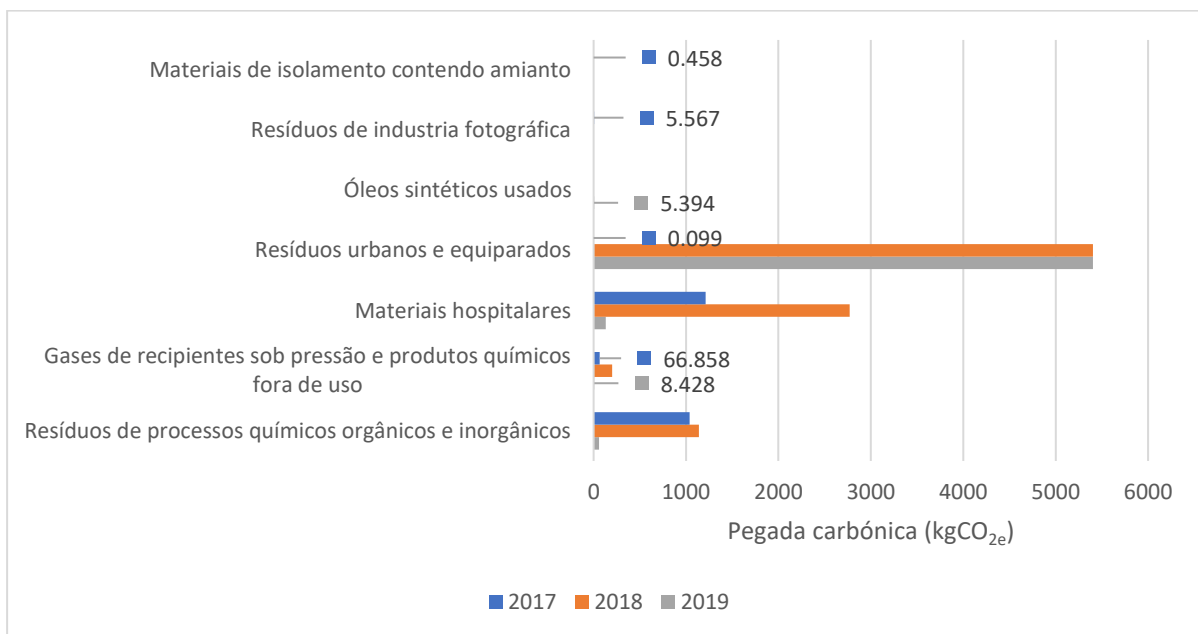


Gráfico 3.19 – Evolução da Pegada carbónica de resíduos para eliminação (D13) ao longo dos anos de estudo.

Capítulo 4 - Discussão de resultados

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar a pegada carbónica nos anos de 2017, 2018 e 2019, ou seja, avaliar as emissões de GEE ao longo dos 3 anos. As emissões traduzem as atividades diretamente ou indiretamente realizadas pelas pessoas que fazem parte da comunidade FCUL, desde alunos, docentes, investigadores e funcionários, e foram calculadas com base no ciclo de vida do combustível, do produto ou do resíduo dependendo da fonte da emissão. Dito isto, o gráfico 4.1 ilustra o peso das emissões totais de GEE diretas e indiretas. O âmbito 3 que representa todas as emissões indiretas que a instituição não tem controlo abrange a maior fatia (56%-60%) da PC. O agregado dos âmbitos 1 e 2 correspondem 40%-44% e refletem as atividades que são controláveis.

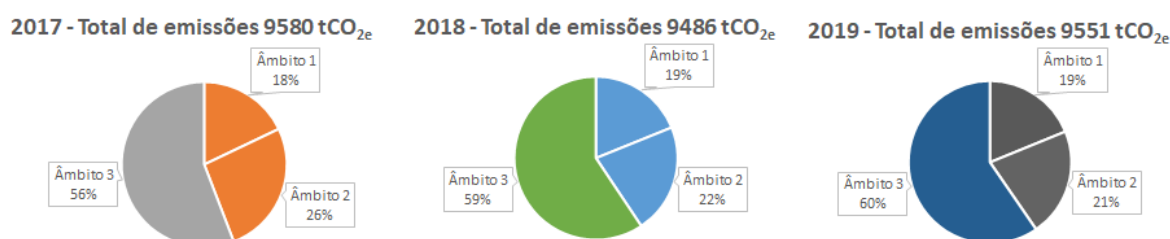


Gráfico 4.1 – Peso das emissões consoante a definição de âmbito.

A tabela 4.6 representa o inventário das emissões globais da faculdade, por âmbito, para o respetivo ano de estudo. A FCUL de 2017 a 2019 teve uma pegada carbónica total na ordem dos 9 milhares, para ser mais preciso, foram emitidas entre 9 486 e 9 580 toneladas de dióxido de carbono equivalente para a atmosfera.

Tabela 4.1 - Pegada carbónica global da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

	Fontes de Emissão	2017	2018	2019
Âmbito 1	Calor	302	377	385
	Refrigeração	1372	1372	1372
	Veículos FCUL	0.52	0.48	1.01
	Consumo da Água	40	40	40
Âmbito 2	Consumo de Eletricidade	2516	2064	2060
Âmbito 3	Alimentação	414	276	271
	Viagens pendulares casa-FCUL	4281	4307	4364
	Tratamento RSU	24	421	427
	Viagens de Investigadores	629	629	629
Pegada carbónica (1000 x tCO_{2e})		9.58	9.49	9.55
Pegada carbónica por Capita (tCO_{2e}/capita)		1.61	1.57	1.55
Pegada carbónica por Estudante (tCO_{2e}/Estudante)		1.82	1.76	1.75

Para melhor compreensão da tabela 4.1, o gráfico 4.2 mostra a evolução das emissões por capita para cada atividade ao longo dos anos e o gráfico 4.3 mostra o peso de cada fonte nas emissões globais. Claramente observa-se que as viagens pendulares diárias têm o maior impacto na pegada carbónica, cerca de 45%. As emissões ligadas a esta atividade podem ser reduzidas, alertando/sensibilizando a comunidade para este problema e incentivando a uma mudança para hábitos de deslocação pendulares casa-FCUL mais sustentáveis: 1) Uso de transportes coletivos sempre que possível; 2) Criação de uma aplicação para promover a partilha de automóvel para as pessoas que residem na mesma área. 3) Incentivo da utilização dos sistemas de *bikesharing* para quem reside nas proximidades.

No consumo de eletricidade tem se verificado um decréscimo (26% para 22%), mas tem mantido ao longo dos anos o estatuto de 2.º maior emissor de GEE. A redução das emissões desta atividade passa pela tentativa de reduzir a dependência de energia comprada à rede (proveniente maioritariamente de combustíveis fósseis) e utilizar cada vez mais a energia elétrica de origem renovável fornecidos pelos painéis fotovoltaicos instalados no *campus*.

A utilização de gases refrigerantes com um elevado PAG levam com que esta atividade seja o 3.º maior emissor com cerca 15% da PC. A substituição de equipamentos de refrigeração para equipamentos mais eficientes e que contenham gases com PAG reduzido tal como o R32 seria uma mais-valia.

As viagens dos investigadores ocupam o 4.º lugar com 7%, muito pela contribuição das viagens de avião, um transporte do qual é compreensível não poder ser substituída por outro modo de deslocação. Contudo, para combater essas emissões propunha-se que reuniões científicas fossem realizadas por videoconferência, isto é, não considerando os gastos das infraestruturas virtuais e energia elétrica. As deslocações para recolha de material, sempre que possível sejam feitas com transporte coletivo, reduzindo assim as emissões da utilização do veículo privado. Incentivo à comunidade investigadora a não utilizar o táxi e sim transportes públicos.

Os resíduos sólidos urbanos foram os que sofreram um maior aumento em percentagem ao longo dos anos de 0.3% para 4%, aumento este que corresponde ao aumento da fração de resíduos encaminhados para as empresas de gestão especializada, em que em 2017 produziram-se 21 toneladas de resíduos, 2018 produziram-se 405 toneladas e 411 toneladas em 2019. Essa produção de resíduos anual corresponde *per capita* a cerca de 66.9 kg.

O consumo de gás natural equivale cerca de 4% da PC, a alimentação cerca de 3% e uma pequena percentagem inferior a 1% para o consumo da água e emissões associadas à frota da FCUL. A frota da FCUL apesar ter uma pequena contribuição, ela pode ser reduzida caso a faculdade opte por veículos elétricos.

No geral, em relação a 2017, verifica-se um decréscimo de 4% na pegada carbónica da faculdade, mas isto deve-se pelo aumento da comunidade (alunos e restantes recursos humanos) que inicialmente registavam um total de 5946 pessoas e sofreu um aumento em 2018 e 2019, para 6027 e 6180 pessoas, respetivamente.

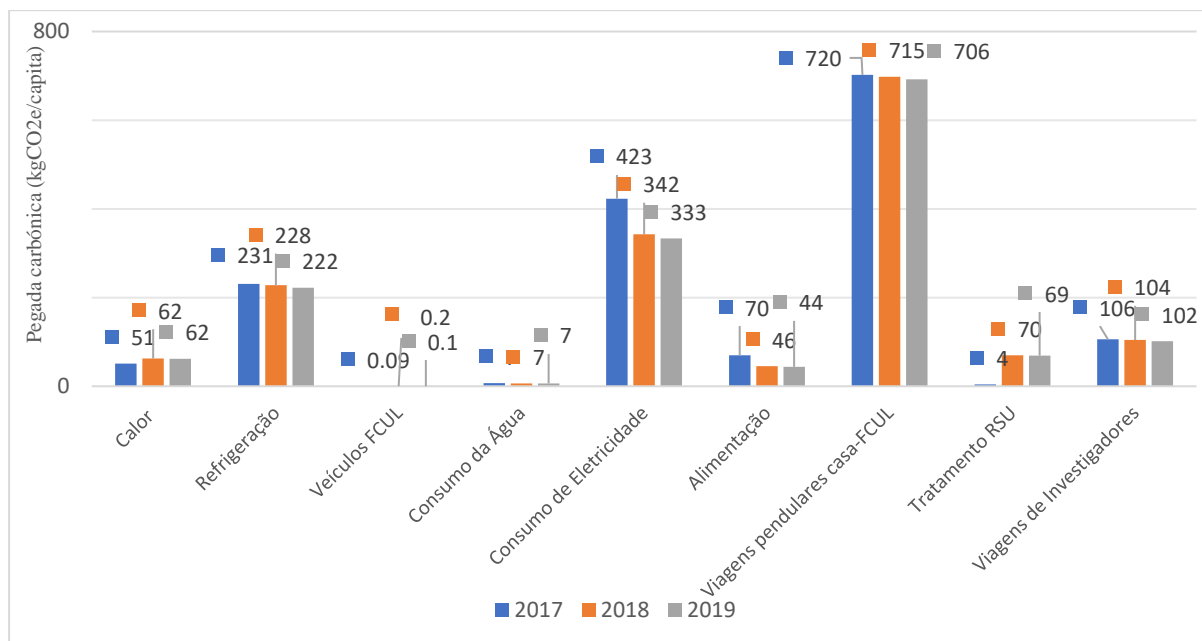


Gráfico 4.2 – Evolução da Pegada carbónica per capita por fonte de emissão nos anos de estudo.

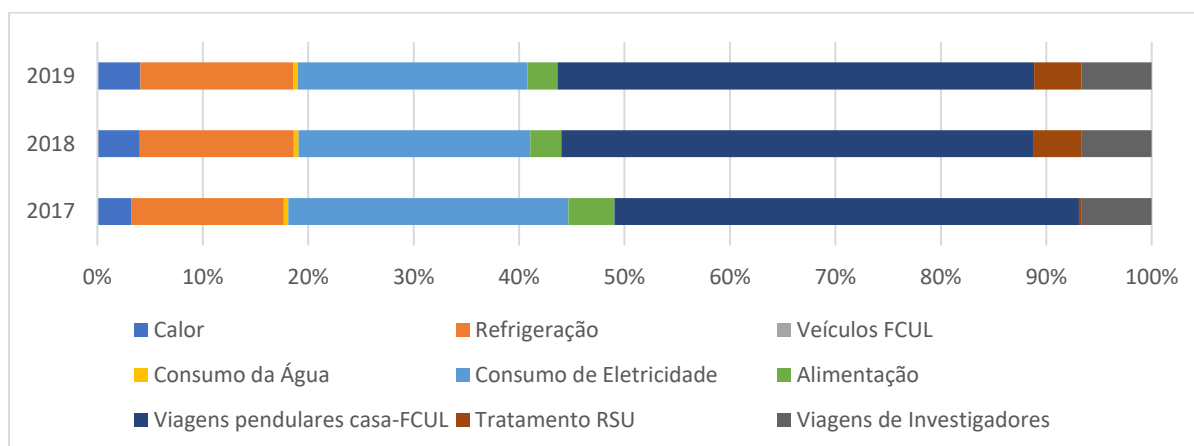


Gráfico 4.3 – Peso das fontes de emissão na Pegada carbónica global da Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa.

Com base no gráfico 4.1, pode-se ainda constatar que mais de metade das emissões não estão no controlo da instituição, mas o resultado presente neste estudo pode ajudar a educar partes interessadas sobre o impacto das suas atividades e influenciar mudanças no *campus*. Na tentativa de fazer comparações com instituições de ensino superior portuguesas, infelizmente, carece de informação nesta matéria. Contudo, foi possível fazer comparações com instituições de ensino superior internacionais, listadas na tabela 1.2, e identifica-se que *Campus* de Talca da Universidade de Talca em Chile que com uma população e emissões de magnitude semelhante, a FCUL tem relativamente uma maior PC por capita. Quando normalizamos os resultados para PC por estudante, sem olhar para a metodologia utilizada ou tipo de fontes de emissões estudadas, através da tabela 1.3, verificamos que os alunos da faculdade de ciências, do *campus* do Campo Grande, são menos poluidores.

Capítulo 5 – Conclusão e Desenvolvimentos futuros

Este estudo teve como objetivo avaliar a pegada carbónica da FCUL, *campus* do campo grande, para os anos de 2017, 2018 e 2019. No geral, a criação de um inventário leva a uma melhor compreensão do impacto que a instituição tem sobre as alterações climáticas e criar uma linha base para futuros estudos no *campus*. Os resultados mostram que a pegada carbónica variou entre 9486 e 9580 toneladas de CO_{2e}, ou para valores *per capita* que variou entre 1.55 e 1.61 toneladas de CO_{2e}, sendo as emissões do âmbito 3, as quais a faculdade não tem controlo, são as que tiveram maior expressão final. Foram identificadas fontes de emissão com emissões expressivas como as viagens pendulares diárias de casa-FCUL e o consumo de eletricidade. No estudo das viagens pendulares, verificamos que apesar da utilização do transporte privado ser a 2.^a opção mais utilizada (mas mais utilizada por parte dos professores e investigadores) é responsável por colocar esta as deslocações diárias casa-FCUL no topo do mais poluidor do inventário.

O estudo teve limitações essencialmente no inventário das fontes onde os dados não estão disponíveis para os 3 anos, as viagens pendulares no ano de 2017, uso de gases refrigerantes e viagens dos investigadores no ano 2019. A indisponibilidade de dados no estudo das viagens de investigação foi onde se encontrou mais obstáculo durante esta pesquisa, a indisponibilidade de pontos de origem, pontos de destino e distância; levam à criação de suposições/cenários que induzem a incertezas nos resultados finais. No futuro sugeria-se que se fizesse um levantamento dos dados anuais, questionando qual a distância despendida por cada meio de transporte durante as viagens. Outro obstáculo, no inventário da alimentação, prendeu-se na dificuldade de encontrar um fator de emissão específico para os bens e produtos adquiridos o que leva a aumentar as incertezas do cálculo.

Futuramente, para atingir valores de pegadas de carbono cada vez mais próximas dos valores reais, seria relevante incluir a compostagem de restos alimentares e resíduos da jardinagem (resíduos verdes), o impacto de captura de CO₂ pela recém-criada FCULresta.

As viagens pendulares que apesar de fazerem parte do âmbito de atividades de emissões indiretas não controláveis pela instituição, ela poderá ser amenizada com campanhas de sensibilização para hábitos de mobilidade sustentável e as emissões proveniente do consumo de eletricidade futuramente poderão ser reduzidas, até mesmo neutralizadas, com recurso à central fotovoltaica instalada no *campus*.

Num mercado ambientalmente cada vez mais consciente, onde o consumidor atribui cada vez mais relevância às questões ambientais, a implementação de medidas em prol da defesa do meio ambiente certamente irá aumentar o reconhecimento da marca FCUL. Desta forma, é de grande valor continuar a discussão deste tema que é a pegada carbónica no *campus*, estabelecendo metas para melhorias futuras e criar parcerias com outras instituições de ensino superior no território nacional de modo a criar uma estrutura orientadora para avaliações comparativas.

Referências

- [1] Matthews H, Hendrickson C, Weber C, 2008. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. Carnegie Mellon University. Environ Sci Technol 42: 5839-5842.
- [2] GALLI, A., WIEDMANN, T., KNOBLAUCH, D. EWING, B. & GILJUM, S. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of Indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecological Indicators. ISSN 1470-160X. 16 (2012) 100-112.
- [3] United Nations Framework Convention on Climate Change, Climate Neutral Now. Guidelines for Participation. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CNN%20Guidelines.pdf> Acedido: Junho de 2022
- [4] The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition. <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>. Acedido: Março de 2021.
- [5] DEFRA. Greenhouse Gas Reporting: Conversion Factor 2020. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>. Acedido: Março de 2021.
- [6] IPCC. <https://www.ipcc.ch/>. Acedido: Agosto de 2021.
- [7] IEA. <https://www.iea.org/>. Acedido: Agosto de 2021.
- [8] EEA. <https://www.eea.europa.eu/about-us>. Acedido: Agosto de 2021.
- [9] JRC Technical reports. <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>. Acedido: Agosto de 2021.
- [10] Yañez, Pablo, Arijit Sinha, and Marcia Vásquez. 2020. "Carbon Footprint Estimation in a University Campus: Evaluation and Insights" Sustainability 12, no. 1: 181.
- [11] Leonor Patricia Güereca, Nathalia Torres, Adalberto Noyola. Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. Journal of Cleaner Production 47 (2013) 396-403.
- [12] Clabeaux R, Carbajales-Dale M, Ladner D, Walker T, Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach, Journal of Cleaner Production.
- [13] Thapelo Letete.Nothando Mungwe. Mondli Guma. Andrew Maquard. Carbon footprint of the University of Cape Town. Journal of Energy of Southern Africa, Vol. 2 no.2, May 2011.
- [14] ISO International Standard Organization: environmental management—life cycle assessment—principles and framework. ISO, Geneva, (14040:2006)
- [15] Moro A; Helters E. A new hybrid method for reducing the gap between WTW and LCA in the carbon footprint assessment of electric vehicles. INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT 22 (1); 2015. p. 4-14. JRC95406
- [16] DIÁRIO DA REPÚBLICA - 2.^a SÉRIE, N.º 122, de 26.06.2008, Pág. 27912. Despacho n.º 17313/2008 da Direção Geral de Energia e Geologia. <https://dre.tretas.org/dre/235510/despacho-17313-2008-de-26-de-junho>. Acedido: Março 2021
- [17] Agência Portuguesa do Ambiente. <https://formularios.apambiente.pt/conversor/>. Acedido: Março 2021
- [18] JRC Technical reports. WELL-TO-TANK Appendix 2 (2014) - Version 4a. Summary of energy and GHG balance of individual pathways. https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/wtt_appendix_2_v4a.pdf. Acedido: Março 2021

- [19] IEA, 2018. Energy intensity of passenger transport modes. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-of-passenger-transport-modes-2018>. Acedido: Junho 2021
- [20] Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change (2014): Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [21] K. Nilsson, V. Sund and B. Florén. Nordic Council of Ministers, 2011. The environmental impact of sweets, Crisps and soft drinks.
- [22] J. Poore and T. Nemecek, Reducing food's environmental impacts through producers and consumers, 2018.
- [23] Clune S, Crossin E, Verghese K, Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories, *Journal of Cleaner Production* (2016), doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.082.
- [24] A. Konstantas, L. Stamford and A. Azapagic, Evaluating the environmental sustainability of cakes. *Sustainable Production and Consumption* (2019), <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.001>.
- [25] Konstantas A, Stamford L, Azapagic A, Environmental impacts of ice cream, *Journal of Cleaner Production* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.237>.
- [26] V. Fantin , S. Scalbi, G. Ottaviano, P. Masoni. A method for improving reliability and relevance of LCA reviews: The case of life-cycle greenhouse gas emissions of tap and bottled water. ENEA (2014) — Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, LCA and Ecodesign Laboratory, Bologna Research Center, Via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna, Italy.
- [27] D. Amienyo & H. Gujba & H. Stichnothe, A. Azapagic. (2013) Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. DOI 10.1007/s11367-012-0459-y
- [28] D. Amienyo, A. Azapagic. LCA FOR ENERGY SYSTEMS AND FOOD PRODUCTS (2016). Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. DOI 10.1007/s11367-016-1028-6
- [29] B. Aken, C. Cheung, A. Florin, L. Long, M. Sanchez. UCLA Environmental Practicum 2017-2018, Life Cycle Assessment of Wine Packaging.
- [30] Henrique Calheiros. Caracterização da mobilidade da população da FCUL e avaliação do potencial para redução de emissões. (2020) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- [31] EEA, 2021. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-9/>. Acedido: Junho 2021
- [32] IEA (2017), *Railway Handbook 2017*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/railwayhandbook-2017>.
- [33] Lyana Domingos. Emissões de CO2eq associadas à atividade científica: caso de estudo da FCUL. (2021) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

- [34] Lista Europeia de Resíduos, LER, publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, que altera a decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, referida no artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro. <http://data.europa.eu/eli/dec/2014/955/oj>. Acedido: Junho 2021

Anexo

CATEGORIA	ANO	PRODUTO	SUB-PRODUTO	UNIDADE	MÉTODO		Referência	
					CTG/WTT	GTG/TTW	*2.2.1.1	
CALOR		Gás Natural		kgCO _{2e} /m ³	2.83			
REFRIGERAÇÃO		R32		kgCO _{2e} /kg	675.00		APA, Agência Portuguesa do Ambiente	
		R407C			1773.85			
		R410A			2087.50			
		R417A			2346.14			
ELETRICIDADE	2017			kgCO _{2e} /kWh	487.00		Iberdrola	
	2018				379.00			
	2019				379.00			
CONSUMO DE ÁGUA		Pré-uso		kgCO _{2e} /m ³	0.34		DEFRA, 2020	
		Pós-uso			0.71			
TRANSPORTE		Carro (Gasolina)		gCO _{2e} /p-km	24.80	150.00	*WTT - 2.2.1.3 e 2.2.3.2 TTW - IPCC WG3	
		Carro (Gasóleo)			27.70			
		Carro (Média)			26.28			
		Autocarro			10.22	80.00		
		Barco			22.78	87.50		
		Avião			27.00	170.00		
		2017	Comboio/Metro			13.73	0.00	EEA, European Environment Agency
		2018				12.06		
		2019				9.49		
ALIMENTAÇÃO		Snack		kgCO _{2e} /kg	3.16		[23]	
					Chocolate	4.60		[23]
					Batata Fritas	0.44		[22]
					Nozes/amêndoas	1.42		[24]
		Mercearia			Bolo/Salgados	2.48		[25]
					Fruta	0.50		[24]
					Legumes	0.47		[24]
		Laticínios			Iogurtes	1.43		[24]
					Ovos	3.39		[24]
					Leite	1.39		[24]
					Queijos	8.86		[24]
					Gelados	3.82		[26]
		Carne			Bovina	28.73		[24]
					Suína	5.85		[24]
					Frango	4.12		[24]
					Cabra	27.91		[24]
Mistura	16.65		-					

			Peixe			4.41	[24]	
			Água			0.16	[27]	
			Refrigerantes			0.25	[28]	
			Cervejas			0.84	[29]	
			Vinho			0.69	[30]	
TRATAMENTO DE RSU			Papel/Cartão	kgCO _{2e} /t		853.57	21.32	DEFRA, 2020
			Lâmpadas			9805		LCA of ultra-efficient lamps, DEFRA, 2009
			Pilhas/Acumuladores			12119.21	21.32	DEFRA, 2020
			Resíduos de Equipamentos eletrônicos			1148.42		
			Plástico			3116.29		
			Madeira			312.61		
			Metais			5204.56		
			Vidro			843		
			Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas				10.2	
			Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos (R13)				21.32	
			Resíduos urbanos e equiparados (R13)			1148.42	DEFRA, 2020	
			Gases de recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso				21.32	
			Materiais hospitalares					
			Resíduos de processos químicos orgânicos e inorgânicos (D15)					
			Óleos sintéticos usados					
		Resíduos urbanos e equiparados (D15)		1148.42				