

Escola Superior Agrária

Politécnico de Coimbra

Pegada de Carbono do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

Milene Lopes

Coimbra, 2024



Escola Superior Agrária

Politécnico de Coimbra

Pegada de Carbono do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

Relatório realizado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Mestre em Gestão Ambiental

Orientador:

Professor Doutor António Ferreira

Co-Orientador:

Professor Doutor José Vicente Ferreira

Orientador Externo:

Doutora Marisa Almeida

Juri:

Professora Doutora Carla Rodrigues

~~Professora Doutora Carmo Rodrigues~~

Professor Doutor Luís Manuel Serrano

Corrigir.
Para: Professor
Doutor António
Ferreira

Coimbra, 2024

Agradecimentos

A concretização desta dissertação e de todos os objetivos propostos só foram possíveis graças à colaboração de várias pessoas, que, de diversas formas, contribuíram para a conclusão deste trabalho. A todos eles, gostaria de deixar os meus mais sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, gostaria de expressar o meu agradecimento ao Professor António Ferreira, pelo apoio, orientação e disponibilidade que sempre demonstrou, assim como ao Professor José Ferreira, que se mostrou sempre disponível para ajudar sempre que possível.

Agradeço também à Dra. **Marisa Almeida** pela paciência e disponibilidade na orientação, mesmo fora de horas. Agradeço a toda a equipa do CTCV, que de maneira direta ou indireta contribuiu para a realização deste trabalho. Em particular, à Anabela Amado pela disponibilidade, preocupação e cuidado demonstrados ao longo de todo o processo, à Anabela Fonseca pela paciência e simpatia, à Alexandra pela orientação e ajuda constante na execução do trabalho, à Andreia pela tranquilidade transmitida no decorrer do processo, ao Pedro Frade pela ajuda e disponibilidade, e ao André Santos por todo o apoio prestado. A colaboração de todos foi essencial para a conclusão desta dissertação.

Aos meus amigos, um obrigado pelo incentivo e pela amizade. Em especial à Mariana Sousa, que, mesmo distante, nunca deixou de me incentivar. À Francisca, Rita Gago, Daniela, Beatriz Fonseca e Catarina agradeço pela vossa presença.

À minha família, agradeço por sempre me proporcionar as melhores condições para a realização deste trabalho. Ao meu irmão Sérgio, pelo apoio, paciência, determinação, espírito crítico e amizade. Em especial à minha mãe, a minha melhor amiga cujo apoio incondicional e força foram essenciais em toda a minha jornada. A sua paciência, sabedoria e dedicação nunca deixaram de me inspirar.

Por último, ao meu melhor amigo e companheiro de vida, Daniel Palaio, expresse o meu profundo agradecimento pelo carinho, apoio, espírito crítico, paciência e amor incondicional demonstrados ao longo da realização deste trabalho. A ele, ao meu irmão e à minha mãe dedico esta dissertação.

Abstract

Climate change has increasingly raised concerns in society, highlighting the potential severe consequences that may arise in the future if appropriate measures are not taken. It is becoming more and more imperative for each individual to assume responsibility for environmental protection, contributing to the mitigation of the adverse effects of climate change. In addition to individual action, it is equally crucial for companies to play an active role in this global effort by implementing practices that help limit the increase in average global temperatures to within the defined thresholds, namely 1.5°C to 2°C above pre-industrial levels. In this context, various mitigation and adaptation measures have been implemented globally to minimize the impacts of climate change. One such approach involves the adoption of carbon footprint calculation methods, a relevant tool for assessing and minimizing environmental impact. The Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), in its commitment to monitoring environmental impact and continuously improving its performance, has calculated its carbon footprint. This calculation was carried out using two different methodologies, with a control-focused approach on the CTCV's operations. The results indicate that the activities with the highest contribution to global warming, both in 2022 and 2023, are related to leaks of fluorinated gases, electricity and transportation associated with its fleet. Acknowledging this, CTCV has sought to mitigate its impacts, namely by introducing electric vehicles into its fleet as part of a strategy to address the issue. Additionally, the analysis conducted using SimaPro software revealed that, among all the impact categories assessed, human health is the most affected. With the aim of achieving not only economic progress but also environmental sustainability, CTCV is committed to continuing the monitoring of its carbon footprint over time, implementing new measures whenever possible, in order to align with best sustainability practices and contribute to climate change mitigation.

Resumo

As alterações climáticas têm despertado uma crescente preocupação na sociedade, alertando para as potenciais consequências substanciais que poderão ocorrer no futuro, caso não sejam adotadas medidas adequadas. Torna-se cada vez mais imperativo que cada indivíduo assuma a sua responsabilidade na proteção do ambiente, contribuindo para a mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas. Para além da ação individual, é igualmente crucial que as empresas desempenhem um papel ativo neste esforço global, implementando práticas que ajudem a controlar e impedir o aumento da temperatura média do planeta dentro dos limites definidos, nomeadamente 1,5°C a 2°C em relação aos níveis pré-revolução industrial. Nesse sentido, têm sido implementadas, a nível global, diversas medidas de mitigação e adaptação, com o intuito de minimizar os impactos das alterações climáticas. Uma dessas abordagens envolve a adoção de métodos de cálculo da Pegada de Carbono, uma ferramenta relevante na avaliação e minimização do impacto ambiental. O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), no seu compromisso com a monitorização do impacto ambiental e a melhoria contínua do seu desempenho, procedeu ao cálculo da sua Pegada de Carbono. Para realização deste cálculo foram utilizadas duas metodologias distintas, adotando uma abordagem de controlo centrado nas operações do CTCV. Os resultados indicam que as atividades com maior contribuição para o aquecimento global, tanto em 2022 como em 2023, está relacionada com as fugas de gases fluorados, a eletricidade e o transporte associado à sua frota. Reconhecendo esta realidade, o CTCV tem procurado mitigar os seus impactos, nomeadamente com a introdução de veículos elétricos na sua frota, como parte de uma estratégia de combate à problemática. Adicionalmente, a análise realizada através do software SimaPro revelou que, entre todas as categorias de impacto avaliadas, a saúde humana é a mais acentuada. Tendo como objetivo não só o progresso económico, mas também o ambiental, o CTCV compromete-se a continuar a monitorizar a sua Pegada de Carbono ao longo do tempo, adotando novas medidas sempre que possível, de forma a alinhar-se com as melhores práticas de sustentabilidade e a contribuir para a mitigação das alterações climáticas.

“We ourselves feel that what we are doing is just a drop in the ocean. But the ocean would be less because of that missing drop.”

Mother Teresa

Índice

| | |
|--|-------------|
| Agradecimentos | i |
| Abstract | iii |
| Resumo | v |
| Lista de Acrónimos | xi |
| Lista de Figuras | xiii |
| Lista de Tabelas | xv |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Enquadramento | 1 |
| 1.2 Objectivos e Principais Contribuições | 3 |
| 1.3 Estrutura da dissertação | 4 |
| 2 Importância da determinação da Pegada de Carbono | 5 |
| 2.1 Problemática das Alterações Climáticas | 5 |
| 2.2 O que é a Pegada de Carbono? | 6 |
| 2.3 CTCV e Ambiente | 8 |
| 3 Estado da Arte | 11 |
| 3.1 Ação Climática | 11 |
| 3.2 Conceitos, Modelação e Avaliação da Pegada de Carbono | 16 |
| 4 Análise de Trajetórias e Procedimentos de Cálculo | 19 |
| 4.1 Metodologia GHG Protocol | 19 |
| 4.2 Metodologia numa abordagem de ACV da organização | 22 |
| 4.2.1 SimaPro | 23 |
| 5 Cálculo da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro | 27 |
| 5.1 Dados de Atividade | 27 |
| 5.2 Aplicação da metodologia GHG Protocol | 28 |
| 5.2.1 Fontes móveis (Gasóleo) | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2.2 | Gás Natural | 33 |
| 5.2.3 | Gases Fluorados | 34 |
| 5.2.4 | Outros Gases | 36 |
| 5.2.4.1 | Acetileno | 36 |
| 5.2.4.2 | Protóxido de Azoto | 37 |
| 5.2.5 | Eletricidade | 38 |
| 5.2.6 | Fontes Móveis (Elétricos) | 40 |
| 5.2.7 | Água | 41 |
| 5.2.8 | Resíduos | 43 |
| 5.2.9 | Viagens de Avião | 44 |
| 5.2.10 | Papel | 45 |
| 5.2.11 | Resultados GHG Protocol | 47 |
| 5.3 | Aplicação e Resultados com base na ACV | 52 |
| 6 | Discussão dos Resultados | 63 |
| 7 | Conclusão | 67 |
| | Bibliografia | 71 |

Lista de Acrónimos

ACV Avaliação do Ciclo de Vida

AICV Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida

APA Agência Portuguesa do Ambiente

APICER Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e de Cristalaria

BREF Best available techniques Reference document (Documentos de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis)

CELE Comércio Europeu de Licenças de Emissões

CEN Comité Europeu de Normalização

CTCV Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro

DA Dados de Atividade

DAP Declaração Ambiental do Produto

EC Economia Circular

FE Fator de Emissão

GEE Gases com Efeito de Estufa

IA Inteligência Artificial

ICV Inventário do Ciclo de Vida

IDI Investigação, Desenvolvimento e Inovação

IDT Investigação e Desenvolvimento Tecnológico

IPAC Instituto Português de Acreditação

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IPQ Instituto Português da Qualidade

ISO Organização Internacional de Normalização

KEI Key Environmental Issues (Questões Ambientais Chave)

MPC Matérias Primas Críticas

MTD Melhores Técnicas Disponíveis

PC Pegada de Carbono

PAG Potencial de Aquecimento Global

SCT Sistema Científico e Tecnológico

SGA Sistema de Gestão Ambiental

UE União Europeia

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Organograma da Organização geral do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro. | 9 |
| 3.1 | Esquema da evolução histórica da ação climática. | 13 |
| 3.2 | Gráfico da variação das emissões de GEE, em Mton (mega tonelada) de CO ₂ equivalente, em Portugal ao longo dos anos (1975-2022) [1]. | 13 |
| 3.3 | Gráfico da variação das emissões de GEE, em Mton (mega tonelada) de CO ₂ equivalente, entre a União Europeia e o Mundo ao longo dos anos (1975-2022) [1]. | 14 |
| 3.4 | Gráfico das emissões CO ₂ da Cerâmica nacional e as metas de redução. Fonte: Roteiro para a Neutralidade Carbónica da Indústria Cerâmica até 2050. CTCV, Almeida, M. e Frade, P. | 15 |
| 3.5 | Gráfico das emissões CO ₂ do Vidro nacional e as metas de redução. Fonte: Roteiro para a Descarbonização na Indústria do Vidro de Embalagem e Cristalaria até 2050 – RODIV2050. CTCV, Almeida, M. e Frade, P. | 15 |
| 3.6 | Lista de matérias-primas críticas em 2023 [2]. | 17 |
| 4.1 | Visão Geral dos Âmbitos e Emissões do GHG <i>Protocol</i> em toda a cadeia de valor [3]. | 20 |
| 5.1 | Gráfico da quantidade de litros de gasóleo gastos por colaborador. | 31 |
| 5.2 | Gráfico da contribuição do consumo de gasóleo para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 33 |
| 5.3 | Gráfico da contribuição do consumo de gás natural para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 34 |
| 5.4 | Gráfico da contribuição dos gases fluorados para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 35 |
| 5.5 | Gráfico da contribuição do Acetileno para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 37 |
| 5.6 | Gráfico da contribuição do Protóxido de Azoto para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 38 |
| 5.7 | Gráfico da quantidade de Energia Elétrica consumida por colaborador. | 39 |
| 5.8 | Gráfico da contribuição da Energia Elétrica para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 40 |
| 5.9 | Gráfico da contribuição da Energia Elétrica para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 41 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.10 | Gráfico da quantidade de água consumida por colaborador. | 42 |
| 5.11 | Gráfico da contribuição do consumo de água para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 43 |
| 5.12 | Gráfico da contribuição da produção de resíduos para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 44 |
| 5.13 | Gráfico da contribuição das Viagens de Avião para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 45 |
| 5.14 | Gráfico da quantidade de papel consumido por colaborador. | 46 |
| 5.15 | Gráfico da contribuição do consumo de papel para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023. | 46 |
| 5.16 | Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia GHG Protocol. | 47 |
| 5.17 | Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro por colaborador, segundo a metodologia GHG Protocol. | 48 |
| 5.18 | Gráfico da contribuição do DA na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022. | 49 |
| 5.19 | Gráfico da contribuição do DA na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023. | 49 |
| 5.20 | Gráfico da contribuição por tipo de emissão na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022. | 50 |
| 5.21 | Gráfico da contribuição por tipo de emissão na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023. | 50 |
| 5.22 | Gráfico da contribuição por âmbito na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022. | 51 |
| 5.23 | Gráfico da contribuição por âmbito na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023. | 51 |
| 5.24 | Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia ACV. | 59 |
| 5.25 | Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro por colaborador nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia ACV. | 59 |
| 5.26 | Gráfico da Distribuição de impactes por classes de fluxos do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022. | 60 |
| 5.27 | Gráfico da Distribuição de impactes por classes de fluxos do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023. | 61 |
| 6.1 | Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, comparando os resultados das duas metodologias. | 64 |

Lista de Tabelas

| | | |
|------|---|----|
| 4.1 | Comparação entre ACV do produto e ACV organizacional [4]. | 23 |
| 5.1 | Organização dos dados de atividade. | 28 |
| 5.2 | Classificação das fontes de emissão e fonte de informação utilizada para o cálculo. | 30 |
| 5.3 | Apresentação da contribuição da frota para a PC, através de duas fontes distintas. | 32 |
| 5.4 | Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo. | 32 |
| 5.5 | Contribuição do gás natural para a PC. | 33 |
| 5.6 | Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo. | 34 |
| 5.7 | Contribuição dos gases fluorados para a PC. | 35 |
| 5.8 | Apresentação da contribuição do acetileno para a PC. | 36 |
| 5.9 | Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo. | 36 |
| 5.10 | Apresentação da contribuição do protóxido de azoto para a PC. | 37 |
| 5.11 | Apresentação da contribuição da eletricidade para a PC. | 39 |
| 5.12 | Apresentação da contribuição dos veículos elétricos para a PC. | 41 |
| 5.13 | Contribuição do consumo de água para a PC. | 42 |
| 5.14 | Contribuição da produção de resíduos para a PC. | 43 |
| 5.15 | Contribuição das Viagens de Avião para a PC. | 44 |
| 5.16 | Contribuição do consumo de papel para a PC. | 46 |
| 5.17 | Inventário dos dados da organização necessários para modelar o ciclo de vida do CTCV. | 53 |
| 5.18 | Mix elétrico da eletricidade produzida em Portugal no ano de 2022 e 2023 [5][6][7]. | 55 |
| 5.19 | Importação de gás natural em Portugal no ano de 2022 e 2023. | 56 |
| 5.20 | Resultado da avaliação de impacte para o Potencial de aquecimento global total do CTCV. | 57 |

1

Introdução

Este capítulo apresenta os conceitos explorados para implementar o trabalho proposto. A motivação para o desenvolvimento do projeto é também abordada, bem como os objetivos traçados *a priori* e os principais contributos.

1.1 Enquadramento

É importante que o desenvolvimento dos negócios ande de mãos dadas com a preocupação com o meio ambiente. [8] Face às preocupações ambientais, à competição global e ao ambiente de negócios incerto, as empresas devem procurar para além das suas competências e capacidades, escolher práticas da cadeia de abastecimento que contribuam para a melhoria do desempenho e no desenvolvimento de vantagem competitiva, atendendo aos requisitos dos *stakeholders* [9].

À medida que as sociedades lidam com a necessidade urgente de atenuar as mudanças climáticas, surgem abordagens inovadoras que se tornam imperativas para enfrentar de forma eficaz a complexidade deste problema. Entre essas abordagens, surgem métodos para otimizar estratégias, prever resultados e orientar a tomada de decisões das empresas [10].

Uma das principais tarefas das empresas é gerir as atividades de forma sustentável e ambientalmente consciente [11], sendo muitas vezes difícil atingir esses objetivos ambientais. Desse modo, a implementação de sistemas de gestão ambiental nas empresas tem um impacto relevante na qualidade dos produtos, processos e na gestão verde da cadeia de abastecimento (*supply chain*) [12].

A norma ISO 14001 constitui-se como uma ferramenta de melhoria da gestão ambiental e total de uma organização, estabelecendo os requisitos para um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), com o objetivo de melhorar continuamente o desempenho ambiental das atividades, produtos e serviços das Organizações [13]. A norma estipula que a Organização deve determinar e selecionar oportunidades de melhoria, apresentando no seu anexo, uma noção de melhoria mais ampla do que a simples melhoria contínua na eficácia do SGA. Neste caso, a melhoria pode ser suportada por um plano que explicita objetivos, atividades, responsabilidades, documentação, indicadores de desempenho a monitorizar e o calendário, sendo que, segundo a norma, os indicadores de gestão e de desempenho das Organizações que mais se destacam a nível internacional são os da “pegada ecológica” e os que resultam da abordagem de “avaliação do ciclo de vida” [13].

Os impactos ambientais ocorrem desde a extração da matéria-prima, passando pela produção de um bem ou serviço, até o seu destino final ou reciclagem para reincorporação na cadeia de valor [14]. Dentro das metodologias utilizadas na área ambiental, destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Pegada de Carbono (PC). Abordagens de gestão ambiental que proporcionam uma visão abrangente das consequências ambientais de um produto, processo ou serviço. São ferramentas versáteis com diversas aplicações, como estratégias de marketing (declarações ambientais ou rotulagens), tomada de decisões, melhoria ambiental do produto, concepção de projetos, avaliação ambiental de processos e definição de políticas ambientais [15].

Não obstante, a ACV é uma técnica utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto, serviço ou processo ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até à eliminação final. Isso inclui a produção, transporte, uso e eliminação do produto. O objetivo da ACV é identificar e quantificar os impactos ambientais em várias etapas do ciclo de vida e ajudar as empresas e consumidores a tomar decisões mais sustentáveis [16]. As normas da série 14040 sobre avaliação do ciclo de vida (ISO 14040, ISO 14044, ISO/TR 14047), fazem parte do grupo das normas mais relevantes da família 14000 [13]. Desse modo, a metodologia de ACV geralmente aplica-se segundo a ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, incluindo as suas quatro fases: definição do objetivo e âmbito; análise de inventário; avaliação de impactos ambientais e interpretação [17]. A qualidade e credibilidade dos resultados de um estudo de ACV dependem também, em grande parte, da qualidade dos dados incluídos no Inventário do Ciclo de Vida (ICV) [18].

Relativamente à Pegada de Carbono (PC), é de conhecimento geral que o rápido aumento da temperatura global se deve ao efeito de estufa adicional [19], ou seja, devido a determinadas atividades humanas, enormes quantidades de Gases com Efeito de Estufa (GEE) são adicionados àqueles já presentes naturalmente na atmosfera, aumentando o efeito de estufa e o aquecimento global [20]. Resumidamente, entende-se por pegada a quantidade total desses gases libertados para a atmosfera por organizações ou indivíduos [19].

O uso de energia, especialmente a queima de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo, é a principal causa do aumento da PC. Também o transporte, a habitação e o consumo de alimentos contribuem para a pegada de um indivíduo ou família [19]. Mas como sociedade, podemos desempenhar um papel individual na diminuição da PC, começando por medir a mesma.

A realidade atual apresenta uma crescente preocupação global com a sustentabilidade ambiental e consequente redução da pegada de carbono, manifestando-se no centro das pesquisas e discussões políticas. [10]

É inevitável de que terão de ser implementados esforços e medidas para reduzir o problema, e quanto mais tarde, maiores e mais significativas serão as consequências. Neste contexto, a União Europeia (UE) delineou uma estratégia a longo prazo de forma a alcançar a neutralidade carbónica até 2050 [21]. Esta estratégia tem como principal objetivo reduzir os gases com efeito de estufa, nomeadamente o dióxido de carbono, para atingir a neutralidade carbónica na UE.

Destaca-se a indústria cerâmica o qual constitui um setor tradicional, representando um dos materiais mais antigos e prevalentes devido à sua ampla gama de aplicações. As unidades

industriais dedicadas à produção de materiais cerâmicos estão distribuídas por todo o país, com maior concentração na região centro, devido às características geológicas de Portugal, que oferecem solos ricos em argilas e areias de qualidade e quantidade adequadas para a fabricação desses materiais [22].

Para além da ampla gama de aplicações e diversificação de produtos, o setor também se caracteriza pela tecnologia e mercados servidos. O futuro da indústria cerâmica encontra-se nas mais diversas aplicações inovadoras como medicina, desporto, exército, construção e eletrónica [23].

Os impactes ambientais negativos da industria em questão são consideráveis em várias dimensões, desde o processo de fabricação ao transporte dos produtos. Um dos principais *handicaps* em termos ambientais é a dependência energética do setor, destacando o processo de cozedura a altas temperaturas.

Para além da questão ecológica, uma das maiores preocupações na indústria cerâmica reside na substituição dos produtos cerâmicos, seja por alternativas mais acessíveis provenientes de países em desenvolvimento, seja pelo avanço de produtos substitutos. [23]

Muitos países e organizações têm desenvolvido diretrizes e padrões voluntários para promover a sustentabilidade na indústria cerâmica [24].

1.2 Objectivos e Principais Contribuições

O principal objetivo desta tese é monitorizar a Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro (CTCV), para melhoria do seu desempenho ambiental.

Contudo, para facilitar todo o processo até a apresentação de resultados e conclusões, estabeleceram-se objetivos específicos, respeitando a seguinte ordem:

- 1) Identificar e quantificar emissões pelas quais o CTCV é responsável;
- 2) Identificar e analisar as atividades e principais fontes dessas emissões;
- 3) Identificar o âmbito das emissões (*scope 1* - emissões diretas; *scope 2* - emissões indiretas (eletricidade); *scope 3* - outras emissões indiretas);
- 4) Proceder ao cálculo da PC com os dados fornecidos pelo CTCV;
- 5) Apresentar os resultados e conclusões.

Para a concretização destes objetivos foi necessário um estudo intensivo sobre PC e respetivos procedimentos de cálculo, revisão bibliográfica, estudo e análise de trajetórias de emissões.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos. O capítulo 1 inicia com o enquadramento sobre a temática e objeto de estudo desta dissertação.

O capítulo 2 aborda o tema da importância de determinar a pegada de carbono, contextualizando a problemática das alterações climáticas. Em seguida, aborda-se o conceito de pegada de carbono e, por último, é apresentada a organização em análise neste caso de estudo.

No capítulo 3, é apresentado o estado da arte, onde se discute a evolução histórica da ação climática e casos de estudos sobre o cálculo da pegada de carbono.

O capítulo 4 descreve as duas metodologias estudadas para o cálculo da pegada de carbono fazendo uma análise das trajetórias e procedimentos de cálculo. São abordados os princípios de cada metodologia e como estas podem ser aplicadas para avaliar de forma precisa a pegada de carbono de uma organização.

No capítulo 5 são aplicadas as metodologias abordadas no capítulo anterior, com o objetivo de calcular a pegada de carbono do CTCV. São descritos os métodos de cálculo, os fatores de emissão utilizados e os cálculos das emissões de gases com efeito de estufa associadas às atividades da organização. Além disso, explora outras categorias de impacto que são consideradas em uma das metodologias.

No capítulo 6 são discutidos os resultados obtidos das duas metodologias, comparando os valores e refletindo sobre as implicações dos diferentes métodos utilizados para calcular a pegada de carbono.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as principais conclusões do trabalho, considerando as duas metodologias utilizadas e oferecendo sugestões para futuras investigações e possíveis melhorias nas práticas de cálculo da pegada de carbono das organizações.

2

Importância da determinação da Pegada de Carbono

Dada a conjuntura atual a nível global, torna-se essencial abordar temas como o ambiente, as alterações climáticas e as potenciais soluções para estes desafios. Estes são os assuntos explorados no presente capítulo.

2.1 Problemática das Alterações Climáticas

As alterações climáticas decorrentes da atividade humana representam um dos principais desafios globais, com impactos contínuos previstos para empresas e cidadãos nas próximas décadas [25].

Apesar dos impactos futuros, nos últimos 20 anos desde a formação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), houve um substancial avanço na compreensão das alterações climáticas, com evidentes mudanças resultantes da intervenção humana [26].

A 10 de janeiro do decorrente ano foi divulgado o Relatório de Riscos Globais 2024, publicado pelo Fórum Económico Mundial, que revela os riscos mais graves que iremos enfrentar, tais como a incerteza económica, o aquecimento global, conflitos e a rápida evolução tecnológica. Os resultados evidenciam uma perspetiva negativa para o mundo a curto prazo e que se antevê agravar a longo prazo [27].

Segundo este Relatório, os impactos relativos ao clima e à inteligência artificial (IA) emergem como os principais riscos para 2024, com taxas de 66% e 53% respetivamente [28].

Apesar das constatações relativamente à desinformação, muito devido à inteligência artificial [27], os desafios ambientais continuam a ocupar uma posição dominante no cenário de riscos em todos os períodos analisados, ou seja, a curto e a longo prazo [28].

Devido às condições climáticas extremas, prevê-se a ocorrência de ondas de calor extremas, secas, incêndios florestais e inundações. Além disso, ocupam também o 1º lugar na lista dos 10 principais riscos mais graves para a próxima década, juntamente com as mudanças críticas nos sistemas da Terra, perda da biodiversidade e colapso do ecossistema, escassez de recursos naturais e poluição. Apesar dos desafios a enfrentar, alguns especialistas acreditam que o período de concretização da maioria dos riscos ambientais será muito mais longo, apontando para o risco

de ultrapassar um ponto crítico de não retorno [28].

Como já mencionado no capítulo 1.1, relativamente à crise climática, a União Europeia (UE) delineou estratégias de forma a alcançar a neutralidade carbónica até 2050 [21], como o pacote de iniciativas, incluindo leis e diretrizes em matéria de clima, do Pacto Ecológico Europeu. O Conselho e o Parlamento Europeu também aprovou novas metas de redução até 2030 das emissões de gases com efeito de estufa em 62% para setores abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissões (CELE) e, 40% para os não abrangidos [29].

A fim de dar resposta a estas metas ambiciosas, a implementação das melhores técnicas disponíveis é, atualmente, o método mais eficaz para redução das emissões e impacto ambiental [30], sobretudo nos setores mais intensivos, como o caso do setor cerâmico e vidro. Apesar da disponibilidade, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras emergentes é também um cenário que irá contribuir significativamente nesta redução [31].

Assim como muitos países e organizações têm desenvolvido diretrizes e padrões voluntários para sensibilizar e promover a sustentabilidade [24], Portugal também se alinha com essas iniciativas e com o objetivo comum da UE de alcançar a neutralidade carbónica até 2050, como é o exemplo da Lei de Bases do Clima que define metas concretas para antecipação desse objetivo [32].

2.2 O que é a Pegada de Carbono?

Não é novidade que atualmente enfrentamos uma série de desafios ou problemas ambientais e como consequência a preocupação ambiental está cada vez mais em evidência na sociedade. Contudo, também se assistiu ao aumento da necessidade de provas da informação sobre o desempenho ambiental dos produtos no mercado [16].

Num ponto de vista industrial, seria essencial uma transição eficaz e justa, tanto para reduzir as alterações climáticas como para proteger os postos de trabalho. Além disso, essa transição é importante para viabilizar a descarbonização dos setores, garantindo um equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental e a justiça social [33].

Um dos objetivos principais na mitigação das alterações climáticas consiste na redução dos Gases com Efeito de Estufa (GEE), o que tem impulsionado diversas iniciativas voltadas para a limitação das concentrações desses gases na atmosfera [34].

Uma das estratégias mais amplamente adotadas para alcançar esse objetivo comum é a medição da PC, que consiste em quantificar a quantidade total de gases, como o dióxido de carbono, emitidos para a atmosfera por organizações ou indivíduos. Várias atividades do quotidiano contribuem para a PC de um indivíduo ou de uma família, desde o transporte até ao consumo de alimentos. A queima de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, para a produção de energia é, contudo, o principal responsável pelo aumento dessa Pegada [35]. Apesar desta constatação e para melhor compreender o conceito de Pegada de Carbono, é importante perceber que ações quotidianas como conduzir um carro, comprar um par de sapatilhas ou grelhar um bife contribuem diretamente para a emissão de dióxido de carbono e outros gases com efeito

de estufa na atmosfera. Estas emissões, por sua vez, aumentam a PC individual [36]. Assim, praticamente todas as atividades do nosso dia a dia têm implicações ambientais, reforçando a necessidade de consciência e de medidas para mitigar o impacto que geramos no ambiente.

O cálculo da Pegada de Carbono é uma ferramenta utilizada para estimar as emissões de CO₂ resultantes de diversas atividades, como o consumo de energia, transporte, gestão de resíduos e desflorestação. O objetivo principal da ferramenta é auxiliar indivíduos, empresas e instituições a compreenderem a sua PC, o que representa e o impacto ambiental gerado pelas suas emissões de GEE. As calculadoras em questão são recursos digitais projetados para não apenas revelar, mas também promover a redução da PC [35]. É crucial reconhecer que, para além do dióxido de carbono (CO₂), é necessário contabilizar outros gases responsáveis pelas emissões, mesmo que em quantidades menores. Gases como o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o ozono (O₃), entre outros, representam diferentes mecanismos de remoção e diferentes mecanismos de permanência na atmosfera e, por esse motivo, também desempenham um papel significativo no aquecimento global e, por consequência, para a PC. Ou seja, para além do dióxido de carbono e para uma avaliação completa, nomeadamente o metano e o óxido nitroso, após a determinação dos fatores de emissão e dos potenciais de aquecimento global associados a esses gases, estes são convertidos numa unidade convencional, o CO₂ equivalente. Esta conversão permite quantificar de forma uniforme o impacto total das emissões.

Existem diversas metodologias para o cálculo da PC, entre as quais se destacam a ISO/TS 14067, o Protocolo de Produto Padrão GEE (GHG Protocol), a PAS 2050 e a Declaração Climática. As três primeiras seguem padrões específicos ou especificações para calcular a PC de produtos, enquanto a Declaração Climática constitui um subconjunto da Declaração Ambiental do Produto (DAP), focando-se exclusivamente no parâmetro relacionado ao dióxido de carbono, com ênfase nas Alterações Climáticas [34].

A Avaliação do Ciclo de Vida desempenha um papel fundamental no cálculo da Pegada de Carbono, pois proporciona uma visão completa dos inputs e outputs ao longo de todo o processo, permitindo avaliar a formação de poluentes atmosféricos, o consumo de água e a produção de águas residuais, o consumo de energia, a emissão de GEE e outros parâmetros relevantes do ponto de vista ambiental e económico. Além das metodologias de cálculo previamente mencionadas, existem outros recursos orientadores amplamente utilizados, como a norma ISO 14064 (partes 1 e 2), as diretrizes de 2006 do Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) (IPCC), e a ISO 14025 [19].

Num contexto industrial, o cálculo da PC revela-se mais complexo, uma vez que exige uma análise detalhada de todo o ciclo de vida do produto, a fim de identificar todas as etapas envolvidas. Este processo pode ser enquadrado nas abordagens do "berço ao portão" ou do "berço ao túmulo", onde se consideram as diferentes etapas desde a extração de matérias-primas até à entrega do produto final, ou até mesmo à sua eliminação. Nesse sentido, a ACV desempenha um papel crucial na determinação da pegada de carbono. Após a identificação das várias etapas e a recolha dos dados de atividade, estes são posteriormente convertidos em valores de emissão, utilizando os respetivos fatores de emissão.

2.3 CTCV e Ambiente

O Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro (CTCV) é uma Entidade do Sistema Científico e Tecnológico (SCT), certificada pela CERTIF segundo a NP EN ISO 9001 e com laboratórios acreditados pelo IPAC de acordo com a norma NP EN ISO/IEC 17025, para a realização de análises e ensaios. Adicionalmente, o CTCV é reconhecido pelo IPQ como Organismo de Normalização Setorial, participando ativamente nas Comissões Técnicas de Normalização a nível nacional, europeu (CEN) e internacional (ISO).

Com uma cultura de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (IDI), o CTCV proporciona aos seus parceiros de negócio um conjunto abrangente de soluções integradas, que incluem consultoria especializada, auditoria, formação profissional, medição e ensaio, bem como soluções de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (IDT). Os serviços do CTCV são direcionados para os sectores da Cerâmica e do Vidro, bem como para todo o *cluster* da esfera do habitat.

O CTCV labora em três grandes edifícios: o CTCV Materials: Habitat (Lote 6), o CTCV Solar: Nano (Lote 7), ambos localizados no iParque de Coimbra, e o Lufapo Hub, situado na Rua Coronel Veiga Simão. Nos lotes 6 e 7 estão distribuídas as diversas áreas técnicas, que podem ser organizadas em três grandes blocos: Inovação e Desenvolvimento, Medição e Ensaio e Sistemas e Processos. Cada uma dessas áreas é composta por várias unidades de atividade, conforme detalhado a seguir:

1) Inovação e Desenvolvimento:

Gestão e Promoção da Inovação e Desenvolvimento (ID);

Materiais e Produtos Avançados;

Design e Engenharia de Produto.

2) Medição e Ensaio:

Laboratório de Análise de Materiais (LAM);

Monitorização de Ambiente e Segurança, que inclui:

Laboratório de Monitorização Ambiental (LMA);

Laboratório de Segurança e Higiene Ocupacional (SHO);

Laboratório de Ensaio de Produto (LEP);

Laboratório de Sistemas de Energia (LSE).

3) Sistemas e Processos:

Ambiente e Sustentabilidade (UAS);

Sistemas de Gestão e Melhoria (SGM);

Formação e Qualificação;

Sistemas de Informação.

Já o Lufapo Hub, um dos maiores complexos industriais cerâmicos do país, tem como objetivo estabelecer-se como um hub criativo e empreendedor, focado em apoiar *startups* e *scaleups*. Tem como finalidade ser um centro de indústrias criativas, oferecendo um ambiente inspirador que concilie arte, inovação, sustentabilidade e inclusão, atrativo para criadores mundiais.

A estrutura organizacional, representada na Figura 2.1, permite ao CTCV uma atuação diversificada e especializada nas áreas de inovação, ensaios laboratoriais e gestão de processos, tendo em vista o seu compromisso com o desenvolvimento tecnológico e a sustentabilidade ambiental.

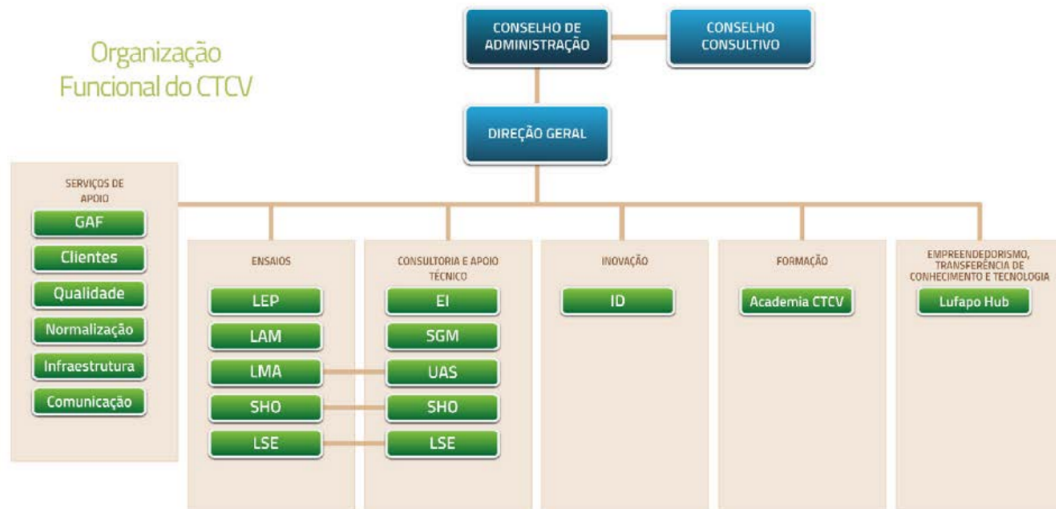


Figura 2.1: Organograma da Organização geral do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro.

(Legenda: EI – Engenharia Industrial; GAF – Gestão Administrativa e Financeira; ID – Inovação e Desenvolvimento; LAM – Laboratório de Análise de Materiais; LEP – Laboratório de Ensaio de Produtos; LMA – Laboratório de Monitorização Ambiental; LSE – Laboratório de Sistemas de Energia; SGM – Sistemas de Gestão e Melhoria; SHO – Laboratório Segurança e Higiene Ocupacionais; UAS – Unidade de Ambiente e Sustentabilidade)

O Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro, já com mais de 40 anos de experiência e uma equipa multidisciplinar de 74 colaboradores, promove ligações ao meio científico e a instituições do ensino superior. Para saber mais, consultar aqui CTCV.

O setor cerâmico caracteriza-se por ter impactes ao longo do seu ciclo de vida, tais como um consumo intensivo de energia e outros recursos, destacando o processo de cozedura a altas temperaturas. Contudo, de modo a evitar ou reduzir as emissões e o impacte no ambiente foi disponibilizado pela UE, para o setor cerâmico e outros setores, documentos de referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (Best available techniques Reference document (Documentos de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis) (BREF)). O documento BREF de 2007 especifica as medidas primárias e secundárias de redução consideradas MTD para o sector da cerâmica, discriminadas por KEI e ao nível do subsector. Atualmente o BREF da cerâmica está em processo de revisão, sendo que o CTCV e a APICER fazem parte da delegação técnica portuguesa (TWG) juntamente com a APA [37].

3

Estado da Arte

No presente capítulo, procede-se a uma análise aprofundada do estado atual da Pegada de Carbono, explorando os principais conceitos, metodologias e desafios associados ao cálculo e à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, realiza-se uma breve análise histórica da evolução do conceito.

3.1 Ação Climática

O efeito de estufa é um fenómeno natural de regulação do clima terrestre e faz com que a temperatura seja superior à que seria observada na ausência da atmosfera. Este efeito, apesar de essencial para a manutenção da vida nos limites certos, ocorre quando parte da radiação infravermelha é emitida e absorvida pelos Gases com Efeito de Estufa (GEE) presentes na atmosfera. Após absorver essa radiação, os gases reemitem energia em todas as direções, com parte a ser redirecionada de volta à superfície, contribuindo para o aquecimento adicional do planeta [38].

Os principais GEE responsáveis por este efeito são: o vapor de água H_2O , o dióxido de carbono CO_2 , o metano CH_4 , o óxido nitroso N_2O , o ozono O_3 e vários clorofluorocarbonetos, entre outros presentes em pequenas quantidades [39].

Como mencionado anteriormente, o dióxido de carbono é o principal responsável pelo aumento do efeito de estufa decorrente das atividades humanas. No entanto, existem outros gases cujas concentrações, embora menores, têm um impacto significativo no aquecimento global. Um exemplo é o metano, cuja molécula tem um potencial de aumento do efeito de estufa cerca de oito vezes maior do que uma molécula de dióxido de carbono [26].

Sendo este um problema de longa data, ao longo dos anos têm sido desenvolvidas diversas ações e medidas climáticas com o objetivo de conter o avanço do efeito de estufa e mitigar o seu impacto. Iniciativas globais, como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris, surgiram como esforços internacionais para reduzir as emissões de GEE, enquanto políticas nacionais e regionais têm promovido a transição para fontes de energia renováveis, eficiência energética e práticas sustentáveis em diversos setores. Essas medidas refletem uma resposta crescente à urgência de combater as alterações climáticas e proteger o meio ambiente [40].

Tudo começou com a publicação do primeiro Relatório de Avaliação do Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) (IPCC) em

1990, que alertou o mundo para os impactos e riscos futuros decorrentes das alterações climáticas. Esse relatório gerou uma conscientização global e ressaltou a necessidade urgente de ações para enfrentar o problema. Em consequência, foi organizada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), em 1992, que comprometeu os países a atuar na redução das emissões de GEE e a mitigar outros efeitos adversos das mudanças climáticas. Além disso, concluiu-se nesse ano que um aumento de 2°C na temperatura média global representaria o limite superior, prevendo-se graves danos aos ecossistemas caso essa marca fosse ultrapassada [40].

Em 1997, foi adotado o Protocolo de Quioto (ou Kyoto), um marco histórico no combate às alterações climáticas. O acordo em questão comprometeu 37 países industrializados, juntamente com a Comunidade Europeia, a reduzir as suas emissões de GEE. O Protocolo estabeleceu metas juridicamente vinculativas, visando uma redução coletiva das emissões em pelo menos 5% abaixo dos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012. Entre 2013 e 2020 foi implementado o segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto, com uma meta de redução de emissões de 18% abaixo dos níveis de 1990 [40].

Adotaram o Acordo de Paris 195 países, em 2015, comprometendo-se voluntariamente a reduzir as emissões GEE. O acordo, que entrou em vigor em 2016, estabelece como objetivo central manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para limitar esse aumento a 1,5°C. A implementação dos compromissos climáticos estabelecidos no Acordo de Paris ocorre ao longo de um período de dez anos, de 2020 a 2030. Durante esse intervalo, os países signatários devem adotar e fortalecer medidas concretas para reduzir as suas emissões GEE, com objetivo de atingir as metas globais de contenção do aumento da temperatura [40]. Esta meta reflete a urgência de evitar impactos catastróficos das mudanças climáticas, promovendo uma transição para economias de baixo carbono em escala global.

Podemos compreender de forma mais clara a evolução histórica da ação climática por meio dos esquemas abaixo representados. Assim como a análise da variação contínua das emissões globais ao longo dos anos, para uma compreensão dos avanços tanto em termos de políticas climáticas quanto a dimensão do problema enfrentado.

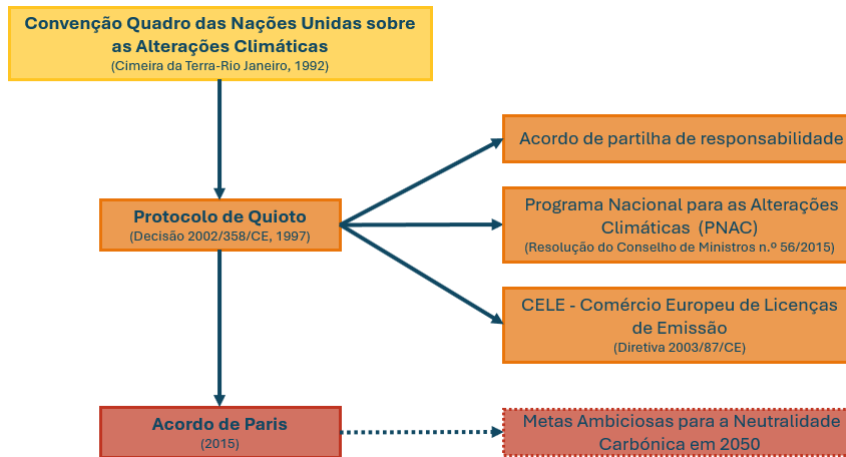


Figura 3.1: Esquema da evolução histórica da ação climática.

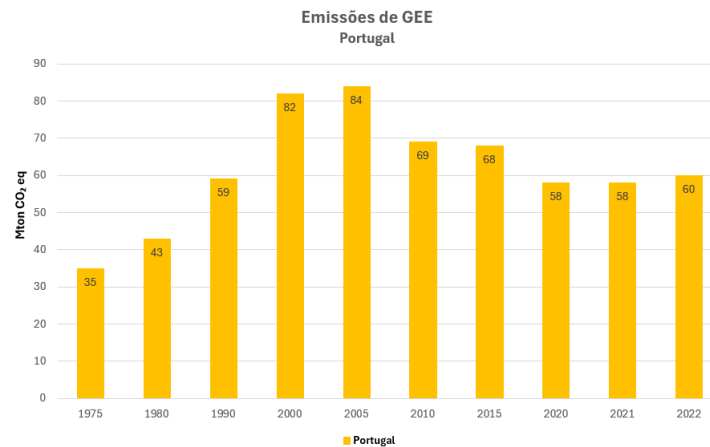


Figura 3.2: Gráfico da variação das emissões de GEE, em Mton (mega tonelada) de CO₂ equivalente, em Portugal ao longo dos anos (1975-2022) [1].

Em Portugal, observa-se um decréscimo geral nas emissões GEE desde 2005, embora tenha ocorrido um ligeiro aumento em 2022. Este fenómeno pode ser explicado pelo fim dos confinamentos devido ao Covid-19 e o avanço das tecnologias, que, embora tragam benefícios em termos de eficiência e inovação, também tendem a resultar num maior consumo de energia e, conseqüentemente, em emissões mais elevadas. Esse avanço poderá explicar também o pico observado nas emissões em 2010. No entanto, apesar deste aumento pontual, Portugal tem vindo a implementar esforços significativos para reduzir as suas emissões, alinhando-se com as metas estabelecidas pela UE para a descarbonização. O país tem, portanto, como missão continuar a diminuir as suas emissões, avançando com políticas e medidas que contribuam para um futuro mais sustentável.

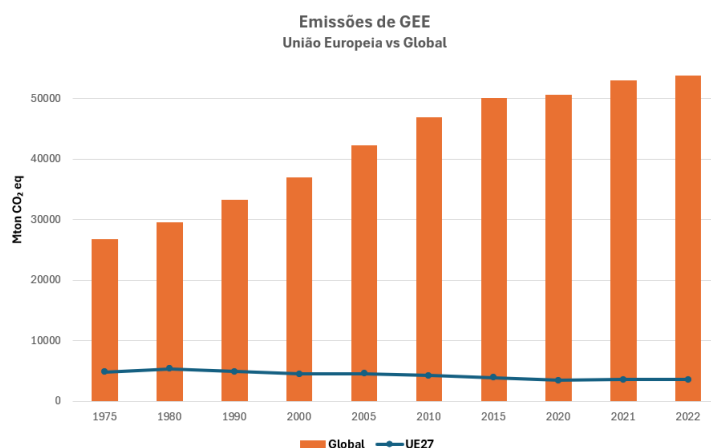


Figura 3.3: Gráfico da variação das emissões de GEE, em Mton (mega tonelada) de CO₂ equivalente, entre a União Europeia e o Mundo ao longo dos anos (1975-2022) [1].

É possível observar que os esforços da UE para enfrentar a crise climática tem gerado um impacto positivo evidenciado pela diminuição dos Gases com Efeito de Estufa nos últimos anos. No entanto, em contrapartida, as emissões globais têm registrado um aumento significativo. A crise climática constitui um desafio global que nos afeta a todos, e, para que possamos combater efetivamente este problema, será necessário que se realizem esforços a nível mundial.

No que respeita aos setores da cerâmica e do vidro, ambos partilham uma série de matérias-primas e apresentam semelhanças em determinados processos produtivos, como a moagem e a mistura dos componentes. Estas indústrias caracterizam-se, ainda, por serem energeticamente intensivas devido à quantidade e tipo de combustível utilizado nos fornos que operam a temperaturas extremamente elevadas. Apesar das diferenças nos produtos finais, tanto a cerâmica como o vidro possuem características comuns, como a fragilidade, a resistência a altas temperaturas, a inércia química e a facilidade de limpeza. No entanto, uma questão de grande relevância é o impacto ambiental associado a estes setores, nomeadamente ao nível das emissões de CO₂, que são substanciais. Na indústria cerâmica, os processos mais críticos em termos de emissões de carbono incluem a secagem e a cozedura. Por sua vez, no setor do vidro, as fases mais impactantes são a fusão e o recozimento. Estas etapas do processo produtivo são os principais responsáveis pelas elevadas emissões de dióxido de carbono [41].

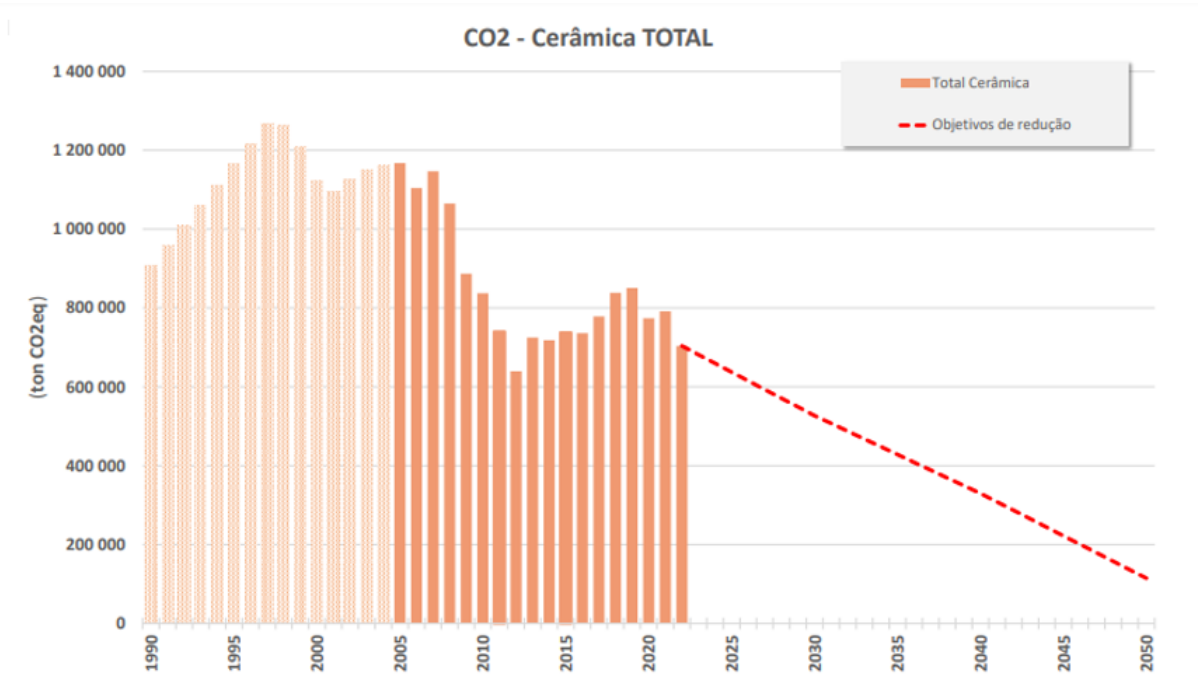


Figura 3.4: Gráfico das emissões CO₂ da Cerâmica nacional e as metas de redução. Fonte: Roteiro para a Neutralidade Carbônica da Indústria Cerâmica até 2050. CTCV, Almeida, M. e Frade, P.

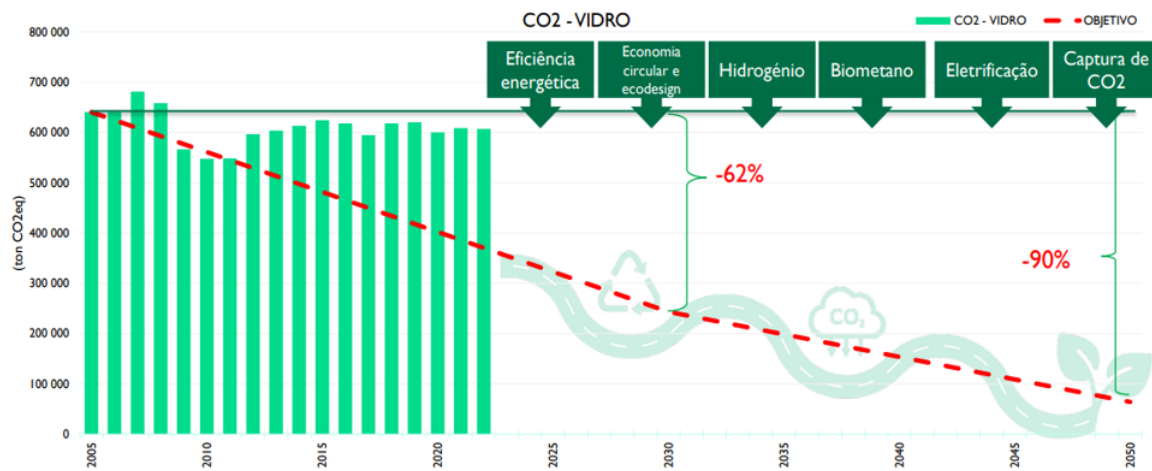


Figura 3.5: Gráfico das emissões CO₂ do Vidro nacional e as metas de redução. Fonte: Roteiro para a Descarbonização na Indústria do Vidro de Embalagem e Cristalaria até 2050 – RODIV2050. CTCV, Almeida, M. e Frade, P.

3.2 Conceitos, Modelação e Avaliação da Pegada de Carbono

Sob a perspetiva da Pegada de Carbono, um estudo recente revela que os setores relacionados com os serviços de construção são responsáveis por uma quantidade significativa de emissões indiretas, decorrentes do elevado consumo de produtos intermédios. Em contraste, a indústria transformadora apresenta níveis elevados tanto de emissões diretas quanto indiretas. Além disso, foi destacada a importância de indivíduos e famílias se empenharem na redução das suas emissões domésticas, uma vez que este setor também contribui de forma significativa para o total de emissões GEE. A adoção de práticas mais sustentáveis no dia a dia, como a eficiência energética, o uso de transportes mais ecológicos e a redução do consumo de recursos, é essencial para diminuir a Pegada de Carbono doméstica e contribuir para os esforços globais de mitigação das alterações climáticas [42].

A abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida tem vindo a ser cada vez mais discutida, sendo uma técnica utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto, serviço ou processo ao longo do seu ciclo de vida [22]. Uma metodologia capaz de compreender as consequências ambientais associadas a cada etapa, desde a extração de matérias-primas até à disposição final.

Um estudo indica que a ACV é uma das abordagens mais eficazes para alcançar a neutralidade carbónica [43]. Com o objetivo de encorajar mais esforços de pesquisa para enfrentar a crise climática o artigo destaca que a prioridade na estratégia de descarbonização deve ser dada às medidas de redução, uma vez que estas possuem características mais tangíveis, independentes e verificáveis. A compensação surge como uma alternativa importante, servindo como um complemento às ações de redução para alcançar a neutralidade carbónica. Para ambas as opções - redução e compensação - é fundamental adotar uma perspetiva de ciclo de vida, assegurando resultados mais eficazes e transparentes. Esta abordagem ajuda a evitar problemas como a duplicação de contagens, omissões e transferências de problemas, que podem ser características de práticas como o *greenwashing*. Desta forma, o conceito de neutralidade carbónica deve considerar o ciclo de vida completo dos produtos e organizações, incluindo o âmbito 3. Além disso, o tratamento separado do CO₂ com os restantes gases não possui qualquer fundamento científico, sendo importante incluir todos os GEE relacionados com as emissões, que podem ser expressas em CO₂ equivalente [43], para uma avaliação mais precisa e abrangente.

Os vários países da UE deparam-se com a elevada dependência de países terceiros, para obterem as matérias-primas necessárias para as diversas aplicações industriais, aliada à reduzida quantidade disponível de parte delas. Neste contexto, surgiu a designação de MPC, as quais se distinguem pela sua importância económica e risco de escassez na UE [44]. Foram consideradas 34 MPC em 2023 pela Comissão Europeia e que constam na lista Europeia de MPC.

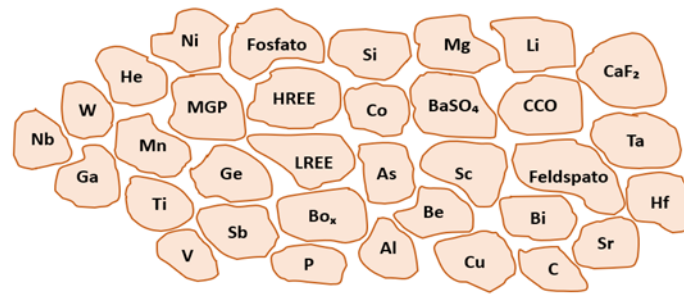


Figura 3.6: Lista de matérias-primas críticas em 2023 [2].

Num contexto de PC e Economia Circular (EC), é essencial considerar a questão das Matérias Primas Críticas (MPC) que representam um conceito relevante para a atividade económica, uma vez que dependem da produção de matérias-primas que incluem a extração, comercialização e transformação em bens, sendo, por fim, eliminadas na forma de resíduos ou emissões.

Ao explorar soluções para reprocessamento de resíduos, numa perspetiva hidrometalúrgica para metais de base, o estudo em questão [45] conclui a importância de diversificar o fornecimento desses metais em resposta à crescente procura. Esta necessidade de diversificação é igualmente aplicável às restantes MPC mencionadas anteriormente, evidenciando a urgência de estratégias que garantam a sustentabilidade e a disponibilidade destes recursos essenciais. O conteúdo destas matérias em resíduos pode por vezes atingir níveis semelhantes à extração desses recursos. Daí a importância de promover medidas de EC, como as simbioses industriais, para garantir uma melhor gestão dos resíduos que contêm quantidades significativas de MPC [44]. No entanto, no âmbito de uma metodologia de desempenho ambiental e ACV, os benefícios associados ao reprocessamento de resíduos para recuperação de recursos carecem de uma exploração mais aprofundada. Este cenário apresenta-se como um desafio, dado que o grau de liberdade permanece bastante elevado e o conhecimento tecnológico disponível ainda é limitado. Contudo a ACV revela-se uma ferramenta valiosa, permitindo uma compreensão mais abrangente do problema e a identificação de potenciais soluções [45].

Atualmente, em todos os setores, a avaliação do desempenho produtivo não se baseia apenas no custo total de aprovisionamento, mas também na pegada de carbono associada ao produto. Deste modo, a eficiência e a produção sustentável assumem um papel de destaque, especialmente em processos produtivos que exigem elevados consumos de energia e água, geram resíduos e envolvem emissões de carbono, como acontece na indústria cerâmica [46]. Essas questões tornam-se ainda mais relevantes num contexto em que a sustentabilidade é uma prioridade crescente para as empresas e os consumidores.

Para realizar um cálculo preciso da Pegada de Carbono (PC), é essencial modelar detalhadamente todo o processo produtivo do produto [46], incluindo os transportes. No caso da indústria cerâmica, isso implica considerar desde a extração e preparação da matéria-prima, como a argila, até às etapas subsequentes de formação, queima, montagem, embalamento e expedição [46]. Além disso, deve-se incluir a fase final do ciclo de vida do produto, ou seja, o seu fim de vida, para assegurar uma avaliação completa e rigorosa do impacto ambiental ao longo de todo o processo.

Já existem vários softwares especializados na modelação e cálculo da PC. A escolha da ferramenta mais adequada, que se alinhe com a realidade específica de cada setor ou processo, e que seja viável em termos de implementação, permite obter uma avaliação clara do desempenho ambiental. Esta avaliação torna possível a identificação de soluções para melhorar a sustentabilidade dos processos produtivos. O ponto de partida consiste na identificação detalhada dos processos que geram emissões e na quantificação dos fatores de emissão associados. Com base nessa análise preliminar e nos dados disponíveis, é realizado o cálculo da PC [46].

4

Análise de Trajetórias e Procedimentos de Cálculo

Neste capítulo, será realizada uma análise comparativa entre duas metodologias de cálculo distintas, com o objetivo de identificar a trajetória mais adequada para o caso em estudo nesta dissertação. Esse processo insere-se numa etapa de integração das metodologias, permitindo uma avaliação criteriosa dos métodos e a escolha da solução ideal.

4.1 Metodologia GHG Protocol

A iniciativa GHG Protocol (Protocolo de Gases com Efeito de Estufa), com início em 1998, tem como objetivo principal o desenvolvimento de normas internacionalmente reconhecidas para a monitorização e reporte das emissões GEE [47].

Entre as diretrizes desenvolvidas pelo World Resources Institute (WRI) e o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e criadas no âmbito desta iniciativa, destaca-se a GHG Protocol Product Standard, publicada em 2011 [48], que visa estabelecer critérios específicos para a medição das emissões associadas ao ciclo de vida dos produtos. [49] Esta diretriz foi desenvolvida a partir da GHG Protocol Corporate Standard [48], publicada em 2001, a qual define os requisitos e orientações necessários para que empresas e outras organizações possam quantificar e comunicar de forma transparente as suas emissões de GEE. As duas diretrizes, em conjunto, permitem uma abordagem abrangente à contabilização de emissões, tanto a nível corporativo como de produto, promovendo práticas de sustentabilidade e conformidade ambiental [47].

O GHG Protocol é um conjunto de normas criado para padronizar a contabilização e o reporte das emissões de gases com efeito estufa. Também define diretrizes claras para medir as emissões de GEE, ajudando as organizações a identificar as suas fontes de emissões diretas e indiretas. Estas emissões são classificadas em três categorias:

- 1) Âmbito 1: Emissões diretas, que provêm de fontes controladas pela própria organização, como veículos ou equipamentos industriais.
- 2) Âmbito 2: Emissões indiretas associadas à energia, como o consumo de eletricidade ou aquecimento que a empresa adquire de fornecedores.

3) Âmbito 3: Emissões indiretas que ocorrem ao longo de toda a cadeia de valor, como as emissões geradas por fornecedores, clientes e o transporte de mercadorias.

O GHG Protocol é uma metodologia globalmente aceite para contabilização de carbono, cuja orientação sobre emissões a montante e a jusante facilita uma divulgação pública e transparente das emissões ao longo da cadeia de valor, em conformidade com um conjunto padronizado de requisitos de reporte [50]. A figura a seguir ilustra de forma clara a visão completa das emissões dos âmbitos 1 (*scope 1*), 2 (*scope 2*) e 3 (*scope 3*).

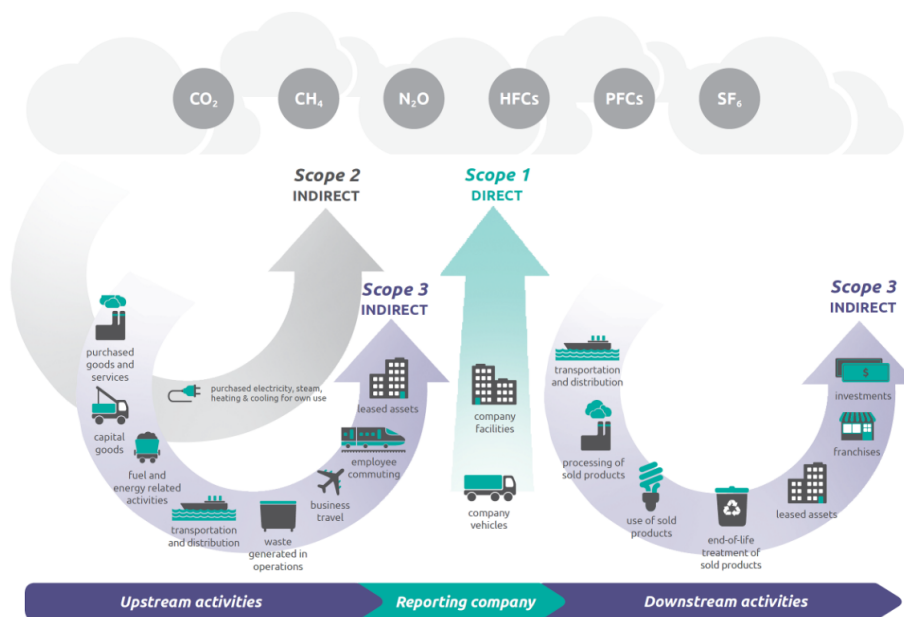


Figura 4.1: Visão Geral dos Âmbitos e Emissões do GHG *Protocol* em toda a cadeia de valor [3].

As métricas de emissões são tipicamente expressas em toneladas de CO₂ equivalente (tonCO₂eq) ou quilogramas de CO₂ equivalente (kgCO₂eq), facilitando a uniformização dos relatórios de impacto ambiental [50]. O cálculo das emissões diretas (âmbito 1) e das emissões indiretas associadas ao consumo de energia (âmbito 2) caracteriza-se por ser mais simples quando comparado ao cálculo das emissões do âmbito 3, devido a fatores ligados ao controlo e à rastreabilidade das fontes de emissão.

As emissões de âmbito 1 correspondem às emissões que a organização monitoriza diretamente, sendo o seu levantamento facilitado pelo acesso direto aos dados internos. Por sua vez, derivadas do consumo de eletricidade adquirida pela organização, as emissões de âmbito 2 permitem uma recolha de dados mais sistemática, uma vez que provêm de fornecedores de energia que disponibilizam as informações necessárias.

No entanto, no caso das emissões de âmbito 3, recomenda-se que a organização as reporte tanto a jusante como a montante da sua cadeia de valor, começando pelos indicadores de maior impacto [50]. Este âmbito apresenta uma maior complexidade, pois depende significativamente de informação externa, fornecida por parceiros, fornecedores e clientes, os quais nem sempre dispõem de dados disponíveis ou precisos. Por essa razão, o cálculo do âmbito 3 requer um

esforço acrescido, metodologias de estimativa mais sofisticada e uma verificação dos dados para garantir a exatidão dos resultados. Dada esta abrangência do âmbito 3, observa-se uma crescente consciencialização da importância de o reportar [50].

Segundo a metodologia GHG Protocol, o cálculo da pegada de carbono segue um processo estruturado, baseado numa série de etapas bem definidas, com o objetivo de alcançar um resultado preciso e consistente.

O primeiro passo consiste em estabelecer os limites organizacionais e operacionais, os quais podem ser definidos com base no controlo operacional da organização ou na sua participação acionária. Em seguida, é fundamental identificar as fontes de emissão, dividindo-as nos três âmbitos estabelecidos pelo protocolo: âmbito 1, 2 e 3. Após a identificação das fontes de emissão, procede-se à recolha dos dados de atividade relevantes para o cálculo, como, por exemplo, o consumo de energia e o transporte. Esses dados de atividade são então convertidos em dados de emissões por meio da aplicação dos fatores de emissão correspondentes, sendo este um passo crucial para garantir a precisão do cálculo. Obtidos os dados de emissão, procede-se ao cálculo das emissões totais da organização, somando as emissões de cada uma das fontes, ou seja, a soma dos valores relativos aos três âmbitos. Após a obtenção do total de emissões, expresso em toneladas de CO₂ equivalente, a organização pode optar por divulgar os resultados em formato de relatório, como forma de garantir transparência. Além disso, pode ainda optar por submeter os resultados a um processo de verificação, com o intuito de assegurar a credibilidade e precisão das emissões reportadas [47].

O protocolo tem sido uma referência essencial para empresas que procuram melhorar as práticas de sustentabilidade e proporciona uma base sólida para a definição de metas de redução de carbono. Além disso, o GHG Protocol desempenha também um papel fundamental na preparação de relatórios de sustentabilidade e na comunicação de compromissos ambientais para os stakeholders [47][49].

4.2 Metodologia numa abordagem de ACV da organização

Todas as organizações, sejam empresas, corporações, instituições ou ONGs, possuem a responsabilidade de minimizar os seus impactos ambientais. Para alcançar uma melhoria efetiva no desempenho ambiental, torna-se essencial que estas entidades integrem, nas suas estratégias, uma quantificação rigorosa dos aspetos ambientais [51]. O processo de medição numa abordagem de ACV permite que a organização avalie de forma mais precisa as suas atividades, identifique áreas de melhoria e adote práticas sustentáveis que contribuam para a redução dos impactos.

Em 2014 foi publicada a norma ISO/TS 14072, estruturada como extensão da ISO 14040. Enquanto a ISO 14040 se aplica à avaliação ambiental de produtos, a ISO 14072 adapta os mesmos princípios para a análise do desempenho ambiental de organizações de forma global [52].

Esta norma define requisitos para a aplicação de uma ACV numa perspetiva organizacional. Embora o conceito de ACV tenha sido inicialmente desenvolvida para avaliar produtos, os benefícios associados a esta abordagem podem ser expandidos para uma análise mais ampla, ao nível organizacional [53]. Tal como mencionado nos capítulos 2 e 3, a ACV desempenha um papel essencial no cálculo da pegada de carbono, pois permite uma avaliação abrangente ao longo de todo o ciclo de vida, considerando cada uma das suas etapas.

Embora as metodologias organizacionais existentes não exijam o cálculo completo de toda a cadeia de valor (abordagem de ciclo de vida), adotar essa abordagem revela-se mais eficaz e vantajoso em termos de resultados [4]. Ao envolver uma abordagem de ACV, é possível considerar não apenas as emissões GEE, mas também outros impactos ambientais significativos. Estes incluem, entre outros, a depleção da camada de ozono estratosférico, a radiação ionizante, a formação de ozono (com efeitos sobre a saúde humana e os ecossistemas terrestres), o uso do solo, a escassez de recursos minerais e fósseis e o consumo de água.

De acordo com a norma, a organização deve considerar o ciclo de vida completo das suas atividades, abrangendo todas as entradas e saídas associadas. Além disso, deve divulgar e justificar qualquer exclusão efetuada [52]. Este procedimento permite alcançar o maior grau de transparência possível no que respeita ao impacto ambiental gerado pela organização. Assim, quanto mais transparente for a informação disponibilizada, maior será a confiança transmitida aos clientes.

Este trabalho aborda um estudo de caso organizacional focado na avaliação da PC ao nível da organização, tendo como objeto de análise o CTCV. Embora a metodologia de ACV aplicada a produtos seja amplamente conhecida e represente a base de referência para os requisitos e diretrizes estabelecidos pela norma ISO 14072 [4], é fundamental compreender as diferenças específicas entre essa abordagem e a ACV aplicada ao contexto organizacional. A tabela 4.1 apresenta uma comparação entre ambas as metodologias.

Tabela 4.1: Comparação entre ACV do produto e ACV organizacional [4].

| Unidades de análise | ACV do produto | ACV organizacional |
|---------------------|---|---|
| Objeto de estudo | Produto (bem ou serviço). | Organização (empresa, corporação, instituição, comerciante individual, parceria...). |
| Unidade Funcional | Definida de acordo com as funções principais do produto. | Organização em estudo é usada como unidade de análise. |
| Fluxos de saída | Refere-se ao número de unidades necessárias para cumprir a unidade funcional. | Representa a quantificação do portfólio de produtos da organização, incluindo tipo e quantidade de produtos. Pode ser expresso por unidade, peso ou volume, entre outras medidas. |
| Limites do sistema | Não é feita a distinção entre impactos diretos e indiretos. Derivado do tipo de produto e não depende diretamente da unidade funcional considerada. | Inclui atividades diretas e indiretas. A definição da organização é uma questão determinante para a definição dos limites do sistema. |

Atualmente, existem diversos softwares disponíveis para cálculo de impacto ambiental com base na abordagem de ACV. Com o aumento da procura e necessidade de relatórios ambientais e estratégias de sustentabilidade, têm surgido novas ferramentas digitais para esse propósito. Entre os softwares mais conhecidos, destacam-se o SimaPro e o GaBi. A escolha do software pode depender dos objetivos específicos da organização, do setor industrial e do nível de detalhe pretendido na avaliação. O SimaPro é um dos mais completos, com uma vasta base de dados e múltiplos métodos de avaliação de impacto ambiental.

4.2.1 SimaPro

O software utilizado neste estudo para o cálculo da pegada de carbono a nível organizacional foi o SimaPro. Este programa, empregado para realizar ACV, é uma ferramenta avançada que permite a execução de avaliações quantitativas de impacto ambiental, sendo necessária a aquisição de uma licença para o seu uso. Desenvolvido pela empresa PRé Consultants e lançado em 1990, o SimaPro é um software de modelação e avaliação de sistemas de produtos com reconhecimento global, estando atualmente disponível e comercializado em diversos países [54].

O SimaPro ajuda a tornar os esforços de sustentabilidade mensuráveis [55], contendo uma série de métodos de avaliação de impacto, essenciais para cálculo dos resultados. [56] Este software é cuidadosamente atualizado a cada versão lançada para integrar os métodos mais recentes, assegurando o rigor científico. Os métodos de avaliação de impacto no SimaPro são variados, e cada um possui um conjunto específico de indicadores e modelos para avaliar diferentes tipos de impacto ambiental. Entre os métodos mais reconhecidos encontram-se, por exemplo, o IPCC, atualizado com a versão de 2021; o ReCiPe, um dos métodos globais de avaliação mais populares; o TRACI, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA); e o EN 15804 + A2 (adaptado), um método europeu direcionado para produtos de construção; entre outros [55]. Neste caso de estudo, foi utilizado o método PEF (Product Environmental Footprint), adaptado para cálculo da pegada das organizações. O banco de dados EF (Environmental Footprint) foi projetado para apoiar a aplicação de regras de categoria de pegada ambiental de produto e das regras de setor de pegada ambiental da organização [57]. A versão do banco de dados

utilizada foi a EF 3.1, que fornece os dados necessários para a análise ambiental de produtos e organizações de forma detalhada e atualizada.

A estrutura básica dos métodos de avaliação de impacto no SimaPro inclui as fases de caracterização, avaliação de danos, normalização, ponderação e adição. De acordo com as normas ISO, os últimos quatro passos são opcionais, permitindo flexibilidade na aplicação de cada método conforme as necessidades específicas de cada análise [56]. O objetivo da caracterização é quantificar os impactos dentro de cada categoria (como mudança climática, acidificação, toxicidade, entre outros) usando fatores de caracterização específicos. A avaliação de danos resulta na avaliação dos potenciais danos causados no ecossistema, na saúde humana e nos recursos. A normalização compara os impactos com uma linha de base para contextualizar e facilitar a interpretação dos resultados. A ponderação permite priorizar as categorias de impacto conforme a relevância no contexto, como prioridades ambientais locais ou organizacionais. E finalmente, a adição facilita a comunicação e a comparação dos resultados globais, consolidando o impacto num único indicador [56].

O mercado do SimaPro oferece uma variedade de produtos, bases de dados e serviços para um aproveitamento máximo deste software. No presente trabalho, utilizou-se a base de dadosecoinvent, reconhecida como a principal base de dados mundial para Inventário do Ciclo de Vida (ICV). O ecoinvent destaca-se por fornecer dados consistentes, transparentes e atualizados, sendo uma fonte viável e robusta para ACV no contexto do SimaPro [58].

As categorias de impacto podem variar conforme o método de avaliação selecionado, mas geralmente incluem as seguintes categorias de impacto ambiental [56]:

- 1) Mudança Climática - potencial de aquecimento global causado pelas emissões GEE;
- 2) Acidificação - impacto nos ecossistemas terrestres e aquáticos devido a emissões ácidas;
- 3) Eutrofização - excesso de nutrientes, como azoto e fósforo, que provoca a proliferação em ecossistemas aquáticos;
- 4) Degradação da Camada de Ozono - potencial de destruição da camada de ozono devido a diferentes gases;
- 5) Toxicidade Humana - pontencial impacto na saúde humana associado à exposição de substâncias tóxicas;
- 6) Ecotoxicidade - impacto das substâncias tóxicas nos ecossistemas aquáticos e terrestres;
- 7) Radiação Ionizante - exposição à radiação e os impactos na saúde humana e no ambiente;
- 8) Formação de Ozono Troposférico (ou Fotoquímico) - emissões que contribuem para a formação de ozono ao nível do solo;
- 9) Depleção de Recursos Fósseis - uso de recursos energéticos não renováveis, como petróleo e carvão;
- 10) Depleção de Recursos Minerais e Metálicos - consumo de recursos minerais e metálicos não renováveis;

- 11) Consumo de Água - impacte ambiental associado ao uso de recursos hídricos;
- 12) Uso do Solo - impacte da ocupação e transformação de territórios naturais, afetando a biodiversidade;

5

Cálculo da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

Os resultados do cálculo da Pegada de Carbono foram organizados conforme os tipos de emissão (âmbito 1, 2 e 3). Serão apresentados os cálculos obtidos pelas duas metodologias discutidas no capítulo 4, seguidos de uma análise comparativa entre o GHG Protocol e a abordagem mais abrangente ao ciclo de vida. Essa comparação permitirá avaliar as diferenças na aplicação e abrangência de cada metodologia em termos de mensuração das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE).

5.1 Dados de Atividade

É relevante dedicar um capítulo específico aos dados de atividade, pois, embora a metodologia selecionada para o cálculo da PC forneça uma estrutura de referência, a seleção dos anos de base e a recolha dos dados de atividade são etapas essenciais e independentes deste processo. A escolha dos anos de base permite estabelecer o período de análise, enquanto a recolha dos dados de atividade assegura que a informação necessária para o cálculo seja precisa e representativa das operações da organização.

Os anos selecionados para o cálculo da PC foram 2022 e 2023, o que permitirá não apenas calcular as emissões de cada um desses anos, mas também analisar a evolução do CTCV ao longo desse período, através da comparação entre os dois anos. Será feita uma avaliação das emissões nos três âmbitos definidos pela metodologia, garantindo assim uma análise mais abrangente e detalhada. Sendo o CTCV uma organização prestadora de serviços, com gabinetes e laboratórios acreditados para a realização de ensaios, a inclusão de todos os dados de atividade possíveis para o cálculo contribuirá para uma maior precisão e credibilidade nos resultados.

A recolha dos dados foi realizada com o apoio dos responsáveis das diferentes áreas (Fig. 2.1), que detinham as informações necessárias, como faturas, guias e dados provenientes de plataformas internas. Após a obtenção desses dados, procedeu-se à sua organização (Tabela 5.1), permitindo uma análise preliminar que facilitou a identificação de possíveis incoerências. Esse processo de organização e verificação foi fundamental para assegurar a consistência da informação e garantir que os dados estivessem prontos para a próxima etapa.

Tabela 5.1: Organização dos dados de atividade.

| Tipo de emissões (ISO 14064-1) | Âmbito | Tipo de atividade | Fonte de dados | Unidade | 2022 | 2023 |
|--------------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------|------------|
| Diretas | 1 | Fontes móveis - frota | Faturas | Litros (L) | 20 496,6 | 19 696,37 |
| Diretas | 1 | Gás Natural | Faturas | Metro cúbico (m^3) | 46,54 | 23,04 |
| Diretas | 1 | Gases Fluorados | Siliamb | Quilograma (kg) | 11 | 15 |
| Diretas | 1 | Acetileno | Guias internos | Metro cúbico (m^3) | 42 | 56 |
| Diretas | 1 | Argon | Guias internos | Metro cúbico (m^3) | 147 | 199,5 |
| Diretas | 1 | Oxigénio | Guias internos | Metro cúbico (m^3) | 42,4 | 53 |
| Diretas | 1 | Protóxido de azoto | Guias internos | Quilograma (kg) | 37,5 | 0 |
| Diretas | 1 | Azoto | Guias internos | Metro cúbico (m^3) | 9,4 | 0 |
| Indiretas | 2 | Eletricidade | Faturas da Eletricidade | Quilowatt-hora (kWh) | 877 611,86 | 714 608,75 |
| Indiretas | 2 | Fontes móveis - frota | Plataforma interna | Quilowatt-hora (kWh) | 9 723,04 | 10 653,42 |
| Indiretas | 3 | Água da rede | Faturas da água | Metro cúbico (m^3) | 1 298 | 1 419 |
| Indiretas | 3 | Resíduos para eliminação (D1) | MIRR | Tonelada (Ton) | 87,78 | 100,64 |
| Indiretas | 3 | Viagens de Avião | Plataforma interna | Quilómetros (km) | 31 693,2 | 65 449,06 |
| Indiretas | 3 | Produtos Químicos | MIRR | Quilograma (kg) | 280 | 380 |
| Indiretas | 3 | Papel | Plataforma interna | Quilograma (kg) | 8000 | 12000 |
| Indiretas | 3 | Central Fotovoltaica (Miniprodução) | Ficheiros Internos | Quilowatt-hora (kWh) | 127 921 | 136 719 |

5.2 Aplicação da metodologia GHG Protocol

Na análise dos resultados segundo a metodologia GHG Protocol, é essencial destacar que, no cálculo da PC a nível organizacional, devem ser consideradas as atividades diretamente e indiretamente associadas ao funcionamento da organização. Isto implica a necessidade de contabilizar não apenas as emissões provenientes das operações internas, mas também as emissões associadas aos fornecedores, a montante, e ao consumo de bens e serviços, a jusante. Ao englobar os três âmbitos definidos pela metodologia iremos obter um cálculo da pegada de carbono

verdadeiramente preciso e abrangente, garantindo uma avaliação completa das suas emissões.

Seguindo as etapas estabelecidas pelo protocolo, foi realizada uma análise preliminar para identificar as fontes de emissão que devem ser quantificadas. Conforme referido nos capítulos anteriores, sendo este um cálculo a nível organizacional, é fundamental garantir a inclusão dos três âmbitos definidos pelo protocolo. Este processo assegura que todas as fontes de emissão, tanto internas como externas à organização, sejam devidamente consideradas, proporcionando uma avaliação completa da PC.

Como mencionado anteriormente, a escolha dos anos de reporte foi igualmente uma etapa relevante neste processo, sendo que, para garantir a precisão do cálculo, é fundamental considerar um ano completo de atividade. No caso específico da organização em análise, o CTCV passou por alterações internas na sua gestão, o que dificultou a recolha de dados relativos a anos anteriores a 2022. Dessa forma, e tendo em conta as informações disponíveis, os anos selecionados para o cálculo da Pegada de Carbono neste estudo foram 2022 e 2023. Esta escolha permite não só uma avaliação mais precisa das emissões, como também facilita a comparação entre os dois anos, oferecendo uma visão clara sobre as eventuais variações nas emissões de carbono ao longo deste período.

Antes de dar início ao cálculo, foi realizada a recolha dos dados necessários, nomeadamente os dados de atividade (DA) e os fatores de emissão (FE). É importante destacar que os fatores de emissão selecionados devem ter origem reconhecida e ser coerentes com a metodologia adotada. Além disso, é importante que esses fatores estejam atualizados, de modo a reunir as condições mais recentes. Sempre que possível, deve-se priorizar o uso de fatores de emissão de origem nacional, uma vez que isso permite uma maior precisão no cálculo, considerando as especificidades do contexto local.

Para facilitar a compreensão, a Tabela 5.2 apresenta a organização dos dados de acordo com as etapas estabelecidas, bem como as fontes de onde foram obtidos os fatores de emissão necessários para a realização do cálculo. Esta estrutura permite uma visualização clara e detalhada das etapas, assegurando a transparência e a consistência no processo de cálculo da PC.

Tabela 5.2: Classificação das fontes de emissão e fonte de informação utilizada para o cálculo.

| Tipo de emissões (ISO 14064-1) | Âmbito | Fontes de Emissão | Tipo de atividade | Fonte de dados | Fonte dos fatores de emissão (FE) | Observações |
|--------------------------------|--------|----------------------|-------------------------------|----------------------|--|-------------|
| Diretas | 1 | Combustíveis | Fontes móveis (combustão) | Faturas | APA | [59][60] |
| Diretas | 1 | Combustíveis | Gás Natural | Faturas | APA | [61] |
| Diretas | 1 | Gases | Gases Fluorados | Siliamb | APA | [62] |
| Diretas | 1 | Outros gases | Acetileno | Guias internos | The Climate Registry | [63] |
| Diretas | 1 | Outros gases | Protóxido de Azoto | Guias internos | ISCC | [64] |
| Indiretas | 2 | Eletricidade e Calor | Eletricidade | Faturas Eletricidade | APA | [65] |
| Indiretas | 2 | Eletricidade e Calor | Fontes móveis (Elétrico) | Plataforma interna | APA | [65] |
| Indiretas | 3 | Água | Água da rede | Faturas | DEFRA (water supply, 2022 e 2023) | [66][67] |
| Indiretas | 3 | Resíduos | Resíduos para eliminação (D1) | MIRR | DEFRA (waste disposal, 2022 e 2023) | [66][67] |
| Indiretas | 3 | Viagens de negócio | Avião | Plataforma interna | DEFRA (business travel - air, 2022 e 2023) | [66][67] |
| Indiretas | 3 | Material de Serviço | Papel | Plataforma interna | DEFRA (Material use, 2022 e 2023) | [66][67] |

Após a recolha dos dados de atividade da organização e a consolidação de toda a informação necessária para uma adequada organização dos dados, bem como a seleção dos fatores de emissão mais apropriados, incluindo os fatores de conversão, foi possível avançar para o cálculo da PC. Como mencionado anteriormente, este passo consistiu na aplicação dos fatores de emissão aos dados de atividade, permitindo a quantificação das emissões de gases com efeito de estufa associadas às operações da organização, conforme os parâmetros definidos pela metodologia adotada.

5.2.1 Fontes móveis (Gasóleo)

A atividade associada à fonte de emissão refere-se à frota de veículos da organização. Embora o CTCV tenha feito um investimento crescente em veículos elétricos nos últimos tempos, a organização ainda depende de uma frota de veículos a combustão, o que contribui para as emissões de GEE.

O CTCV é um Centro de Tecnologia e Inovação (CTI) com técnicos especializados que prestam apoio a empresas de diversos setores, ou seja, depende de deslocações físicas para a

execução de tarefas. Por esse motivo, é frequente a necessidade de deslocações fora da organização para a realização de trabalhos em diversas localizações. Como resultado, os colaboradores percorrem uma quantidade significativa de quilómetros, o que contribui diretamente para o aumento das emissões associadas ao transporte.

É importante salientar que, apesar dos desafios causados pela pandemia de COVID-19, as medidas e regras relacionadas com a quarentena, incluindo a implementação do teletrabalho obrigatório, começaram a ser flexibilizadas no início de 2022. Nesse contexto, o CTCV retomou o seu funcionamento normal em janeiro de 2022, continuando a prestar os seus serviços às empresas de forma assídua.

Em 2022, foram consumidos cerca de 20 497 L de gasóleo, enquanto que em 2023 esse valor foi de aproximadamente 19 696 L. Para compreender melhor o consumo de gasóleo nesses dois anos, foi realizada uma comparação entre a quantidade de combustível gasto e o número de colaboradores. Em 2022, a organização contava com 66 colaboradores, e em 2023 esse número aumentou para 74. Embora nem todos os colaboradores utilizem a frota para as deslocações necessárias à execução dos trabalhos, para uma análise genérica do gasto, torna-se possível avaliar, por colaborador, a quantidade de gasóleo consumido em cada um dos anos. Através da análise dos dados, foi possível representar essa comparação num gráfico, Fig. 5.1, o que facilita a visualização da evolução do consumo de combustível ao longo do período em questão.

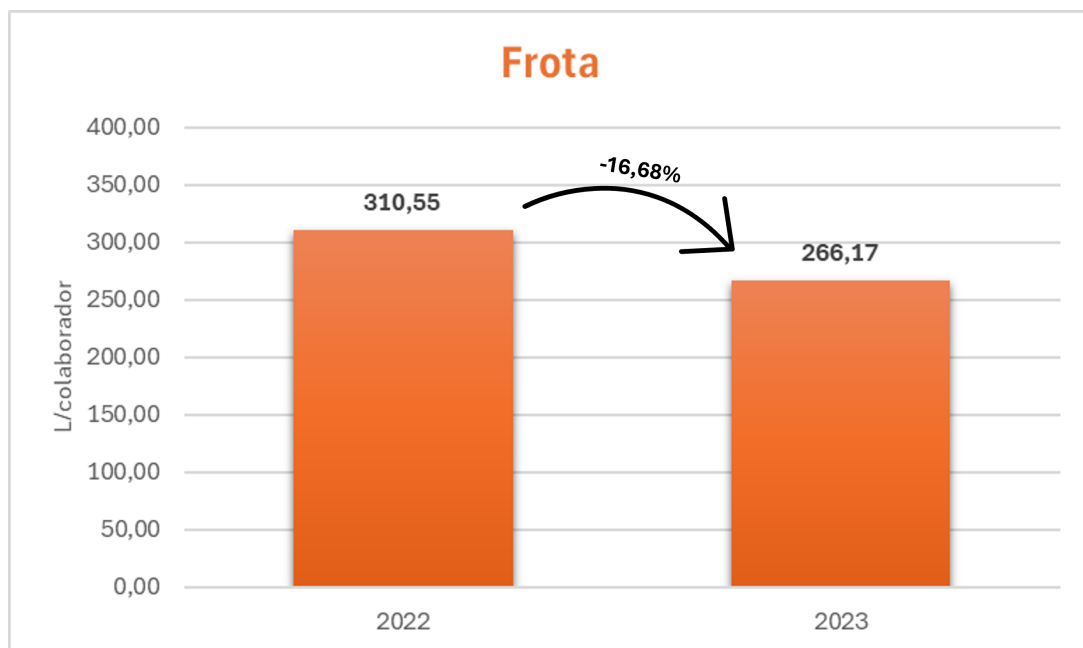


Figura 5.1: Gráfico da quantidade de litros de gasóleo gastos por colaborador.

Para o cálculo da PC, é indicado que a utilização de fatores de emissão, representando o ano base, seja nacional. No entanto, para permitir uma comparação adequada, apresento os resultados obtidos com base em dois fatores de emissão diferentes. O primeiro Fator de Emissão (FE) da Tabela 5.3 foi recolhido da APA (ver fonte na Tabela 5.2), enquanto o segundo foi obtido a partir do guia do inventário de Gases com Efeito de Estufa, que corresponde às emissões diretas provenientes de fontes de combustão móvel da EPA (United States Environmental Protection

Agency) [68].

Tabela 5.3: Apresentação da contribuição da frota para a PC, através de duas fontes distintas.

| Fonte do fator de emissão | Atividade | Tipo de Combustível | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|-----------|---------------------|--------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| APA | Frota | Gasóleo | 74,1 kgCO ₂ eq/Gj | 0,00265 | 54,31 | 52,19 |
| EPA | | | 10,21 kgCO ₂ eq/gal | 0,00270 | 55,28 | 53,13 |

Para alcançar o resultado desejado, dado que as unidades dos fatores de emissão recolhidos não correspondem à unidade necessária, foi realizado um processo adicional de cálculo com recurso a fatores de conversão (Tabela 5.4). Este cálculo resultou no FE a ser utilizado, que foi posteriormente multiplicado pela quantidade total de gasóleo consumido pelo CTCV, permitindo assim o resultado final da PC para 2022 e 2023 (Tabela 5.3. Neste caso, o metano e o dióxido de azoto não são relevantes, uma vez que os fatores de emissão destes gases são residuais, quase nulos.

Tabela 5.4: Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo.

| Densidades DGEG [69] | Conversões DGEG [70] | Fator de emissão da APA [59][60] | Fator de oxidação da APA [59][60] |
|--|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 0,84 | 43 Gj/t | 74,1 kgCO ₂ eq/Gj | 0,99 |
| $((0,84 \times 43) \div 1000) \times (74,1 \div 1000) \times 0,99$ | | | |

A conversão realizada no cálculo do FE fornecido pela EPA seguiu a mesma metodologia, sendo que, desta vez, foi necessário apenas converter o galão para litros, tendo em conta que 1 galão equivale a 3,7854 L.

Ao analisar os resultados obtidos a partir dos fatores de emissão provenientes de diferentes fontes, pode-se concluir que a diferença entre os valores calculados não é significativa. De facto, ao realizar o cálculo da PC com base no fator de emissão nacional, obteve-se um valor inferior em comparação com o cálculo realizado utilizando o fator de emissão dos Estados Unidos. Essa diferença, observada tanto para os anos de 2022 como de 2023, foi de aproximadamente 1 tCO₂eq.

No gráfico da figura 5.2, podemos observar a contribuição do combustível consumido pelo CTCV para a Pegada de Carbono.

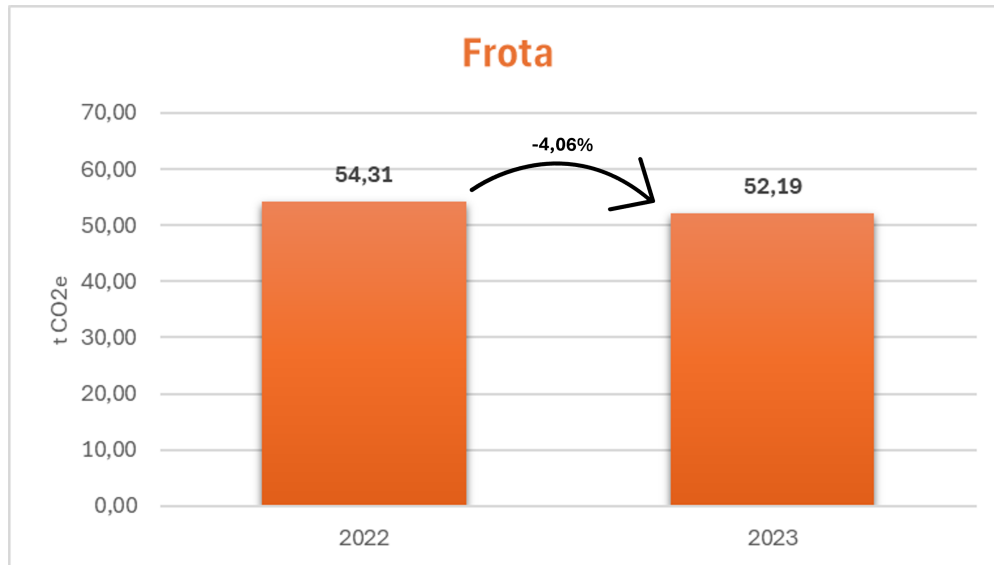


Figura 5.2: Gráfico da contribuição do consumo de gásóleo para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

Os dados de atividade apresentados seguem a mesma lógica de procedimento de cálculo previamente dissertado.

5.2.2 Gás Natural

O gás natural utilizado no centro tecnológico é fornecido em botijas e tem como principal finalidade alimentar o bico do fogão nos ensaios laboratoriais, processo essencial para ferver a água necessária à análise da absorção de água dos materiais, como por exemplo, os ladrilhos cerâmicos. No entanto, após vários estudos realizados pelo CTCV, em 2024 foi realizado o primeiro ensaio de cozedura de peças cerâmicas num forno a hidrogénio, com resultados positivos, revelando-se uma alternativa mais sustentável. Esses testes foram realizados com uma mistura de hidrogénio e gás natural, o que implica que, em 2024, o consumo de gás natural deverá ser significativamente mais elevado, dada a introdução desta nova metodologia de produção.

Nos anos em análise para este caso de estudo, o consumo de gás natural foi relativamente baixo, uma vez que este se destinou principalmente à função de ferver água nos ensaios laboratoriais.

Tabela 5.5: Contribuição do gás natural para a PC.

| Fonte do fator de emissão | Atividade | Tipo de Combustível | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| APA | Consumo de gás natural | Gás Natural | 56,6 kgCO ₂ eq/Gj | 0,00216 | 0,10 | 0,05 |

No site da APA está disponível uma tabela do CELE [61] com o fator de emissão correspondente ao gás natural, assim como os fatores de conversão, uma vez que, da mesma forma que no cálculo da PC do gásóleo, foi realizada uma conversão para obter o resultado desejado.

Tabela 5.6: Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo.

| Poder Calórico Inferior | Fator de emissão de da APA | Fator de oxidação |
|--|---------------------------------|-------------------|
| 38,44 GJ/(m ³ x10 ³) | 56,6 kgCO ₂ eq/Gj | 0,995 |
| ((56,6 x 0,995) x 38,44 ÷ 1000) ÷ 1000 | | |

No gráfico da figura 5.3, é possível observar que a contribuição do gás natural consumido pelo CTCV para a PC foi bastante reduzida, devido à finalidade específica para a qual o gás foi utilizado. No entanto, é relevante contabilizar até mesmo os pequenos contributos, pois isso permite obter um resultado mais preciso e assertivo.

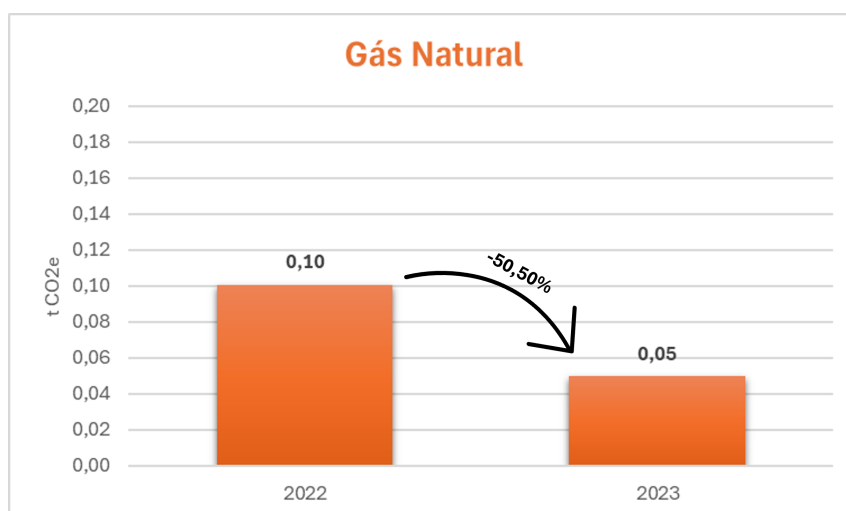


Figura 5.3: Gráfico da contribuição do consumo de gás natural para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.3 Gases Fluorados

Os gases fluorados com efeito de estufa são substâncias com um elevado Potencial de Aquecimento Global (PAG), significativamente superior ao do dióxido de carbono. Estes gases estão presentes em diversos equipamentos, tais como sistemas de refrigeração, aparelhos de ar condicionado, bombas de calor, dispositivos fixos de proteção contra incêndios, unidades de refrigeração de camiões e reboques refrigerados, comutadores elétricos e ciclos orgânicos de Rankine [71]. No entanto, estes gases apenas representam risco ambiental caso ocorram fugas nos equipamentos que os contêm, permitindo que estes se libertem para a atmosfera e contribuam para o aquecimento global.

Em 2022 e 2023, uma das câmaras climáticas do CTCV registou fugas de gases fluorados, o que resultou num contributo significativo para a Pegada de Carbono, devido a um furo ocorrido no permutador de calor em ambos os anos. Este problema foi causado por falhas no sistema de circulação de água.

O cálculo da PC associada aos gases fluorados foi relativamente mais simples, uma vez que a APA disponibiliza, no seu site, uma ferramenta online de cálculo para Gases Fluorados. Esta ferramenta abrange uma variedade de gases, o que facilitou o processo de quantificação das emissões associadas aos compostos no CTCV.

A câmara climática em questão possui três sistemas, duas com o gás R452A e uma com o gás R-23. Em 2022 houve emissão do R-23, um fluido frigorígeno composto por hidrofluorocarboneto (HFC) azeotrópico, enquanto que em 2023 registou-se uma fuga do R-452A, um fluido refrigerante à base de hidrofluorolefina (HFO). Estes dois gases apresentam PAG significativamente diferentes, o que apresenta também diferenças no seu impacto ambiental. O R-23, devido ao seu elevado potencial de aquecimento global, tem um efeito mais prejudicial, enquanto que o R-452A, apesar de ser um GEE, apresenta um impacto ambiental inferior.

Tabela 5.7: Contribuição dos gases fluorados para a PC.

| Equipamento | Tipo de Gás | PAG | Ano | Carga (tCO ₂ eq) |
|------------------------------|-------------|-------|------|-----------------------------|
| Sistema de Refrigeração fixo | R-23 | 14800 | 2022 | 162,80 |
| | R-452A | 2140 | 2023 | 32,10 |

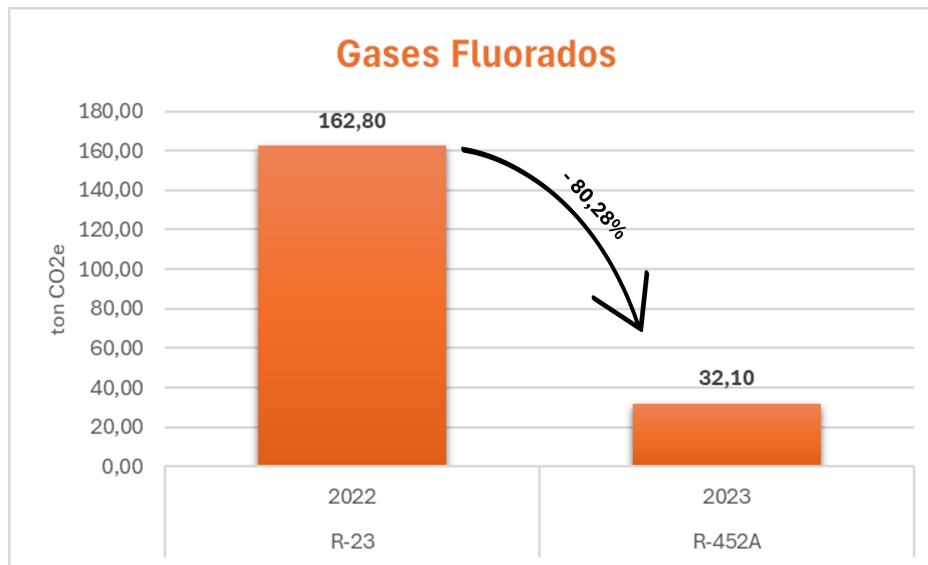


Figura 5.4: Gráfico da contribuição dos gases fluorados para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

Na figura 5.4, é possível observar uma descida acentuada da PC, apesar da quantidade emitida pelos gases devido às fugas ter sido de 11 kg em 2022 e 15 kg em 2023. No entanto, dado que o gás de 2022 (R-23) tem um PAG muito mais elevado, o seu contributo para a pegada de carbono foi significativamente maior. Assim, mesmo com a emissão de uma quantidade ligeiramente superior em 2023, o impacto ambiental do gás de 2022 foi mais expressivo devido à sua maior capacidade de aquecimento global.

5.2.4 Outros Gases

Relativamente a gases utilizados pelos laboratórios do CTCV como o acetileno (C_2H_2), o argon (Ar), o oxigénio (O), o protoxido de azoto (N_2O) e o azoto (N), foi possível calcular a pegada de carbono, através da metodologia GHG Protocol, apenas para o acetileno e o protoxido de azoto. Após uma pesquisa minuciosa, constatou-se que apenas estavam disponíveis os fatores de emissão destes dois gases, o que impossibilitou a realização dos cálculos para os restantes gases mencionados.

Todos os gases mencionados anteriormente são utilizados nos laboratórios, nomeadamente na técnica analítica de Espectrofotometria de Absorção Atómica, aplicada na análise de metais.

5.2.4.1 Acetileno

A ausência de um fator de emissão nacional específico para o cálculo da pegada de carbono do acetileno levou à utilização de um FE proveniente do The Climate Registry (TCR), uma organização sem fins lucrativos dedicada a fornecer serviços e ferramentas que auxiliam as empresas na redução das suas emissões. O TCR foi fundado com o intuito de dar continuidade ao trabalho do California Climate Action Registry (CCAR), um projeto desenvolvido pelo Estado da Califórnia [63].

O resultado que reflete a Pegada de Carbono associada ao acetileno, com base no FE obtido, encontra-se disponível na tabela 5.8.

Tabela 5.8: Apresentação da contribuição do acetileno para a PC.

| Atividade | Tipo de Gás | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|-------------|-------------|--------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| Laboratório | Acetileno | 0,1053 kg CO ₂ /scf | 0,003177 | 0,133 | 0,178 |

O FE recolhido foi apresentado em kg CO₂/scf, o que exigiu novamente uma conversão para possibilitar o cálculo adequado da PC. Para tal, foi necessário considerar a densidade do acetileno e o facto de 1 scf (standard cubic foot) corresponder a 0,028 m³. Esse processo de conversão permitiu adaptar o fator de emissão à unidade necessária para o cálculo.

Tabela 5.9: Apresentação dos fatores de conversão que deram resultado ao fator de cálculo.

| Fator de emissão (kg CO ₂ /scf) [63] | Densidade Acetileno (kg/m ³) | Conversão (m ³) |
|---|--|-----------------------------|
| 0,1053 | 1,17 | 0,028 |
| (0.1053 ÷ (1,17 x 0,028)) ÷ 1000 | | |

Embora o impacto seja residual, é fundamental contabilizar todos os dados de atividade que contribuem para a PC, uma vez que, cada pequena contribuição tem um papel relevante no total. A soma de todos os resultados finais, por mais modestos que sejam, podem resultar num impacto significativo, tornando essencial a inclusão de cada variável.

Observou-se um aumento de 25% na pegada de carbono associada ao consumo de acetileno, quando comparados os valores de 2022 com os de 2023 (Fig. 5.5). Este aumento está diretamente relacionado com o crescimento do número de ensaios realizados nos laboratórios do CTCV.

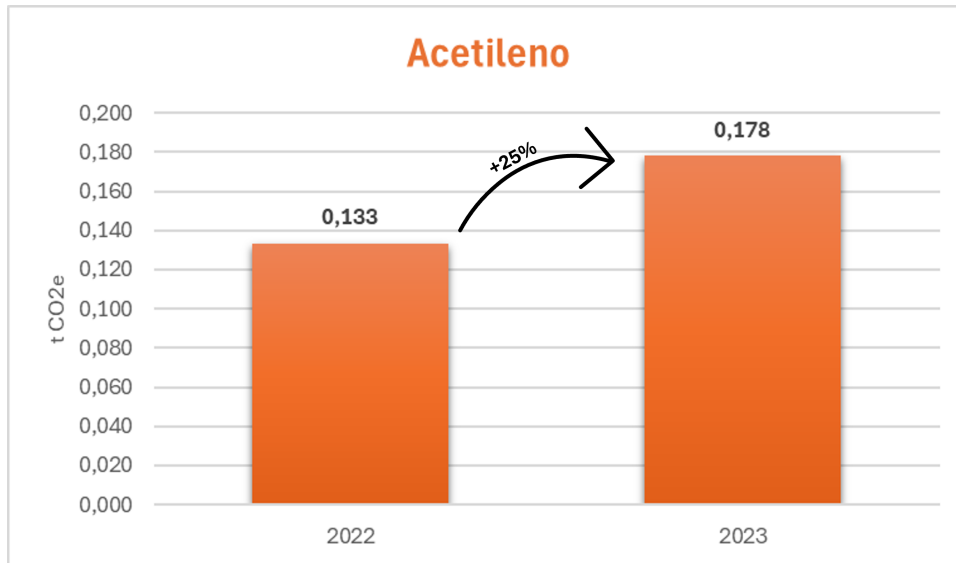


Figura 5.5: Gráfico da contribuição do Acetileno para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.4.2 Protóxido de Azoto

O Protóxido de Azoto (N₂O) seguiu a mesma linha de raciocínio, mas, desta vez, não foi necessário realizar nenhum cálculo de conversão complexo, uma vez que o fator de emissão recolhido do ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) já estava na forma desejada (kgCO₂eq). Assim, foi necessário apenas dividir o valor por 1000 para obter o resultado em tCO₂eq, ajustando os dados à unidade adequada para o cálculo da pegada de carbono.

O ISCC é uma organização independente e multissetorial, responsável pelo desenvolvimento, monitorização, revisão e melhoria contínua do seu sistema de certificação, que abrange todas as matérias-primas sustentáveis. Este sistema é reconhecido como uma referência global no cálculo de emissões de GEE e oferece suporte às empresas, fornecendo as ferramentas necessárias para o cálculo das suas emissões [72].

Já o resultado que reflete a Pegada de Carbono associada ao Protóxido de Azoto, com base no FE obtido, encontra-se disponível na tabela 5.10.

Tabela 5.10: Apresentação da contribuição do protóxido de azoto para a PC.

| Atividade | Tipo de Gás | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|-------------|--------------------|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| Laboratório | Protóxido de Azoto | 0,43 kg CO ₂ /kg | 0,00043 | 0,018 | 0,024 |



Figura 5.6: Gráfico da contribuição do Protóxido de Azoto para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

Uma vez mais, pode-se observar que o impacto ambiental deste gás é residual. No entanto, é relevante destacar que, tal como no caso do acetileno, houve um aumento de 14% na sua pegada de carbono entre 2022 e 2023 (Fig. 5.6, também relacionado com o aumento do número de ensaios. Embora o impacto individual de cada gás seja reduzido, esse crescimento merece atenção, pois pode refletir mudanças nas operações ou no consumo.

5.2.5 Eletricidade

As emissões indiretas de âmbito 2, associadas ao consumo de energia, desempenham um papel fundamental no cálculo da PC, sendo tão importantes quanto as emissões diretas de âmbito 1.

Como sociedade, somos fortemente dependentes da energia elétrica no nosso quotidiano, e, uma vez que grande parte dessa energia provém de fontes de combustíveis fósseis, todos os dias contribuimos para o aumento da Pegada de Carbono. No caso do CTCV, embora seja uma CTI que presta serviços de consultoria a empresas de diversos setores, a sua atividade também depende significativamente do consumo de energia elétrica, especialmente para a realização de ensaios laboratoriais e iluminária.

O CTCV com o foco principal nos setores da cerâmica e do vidro, utiliza equipamentos específicos que permitem a realização de ensaios nos materiais desses setores, como, por exemplo, fornos de pequeno porte. No entanto, os maiores consumidores de energia elétrica no CTCV são as câmaras climáticas, utilizadas para testar a durabilidade dos materiais, simulando condições ambientais extremas que provocam a degradação dos mesmos. O CTCV possui um total de sete câmaras climáticas, sendo que três delas são responsáveis pela criação de um ambiente controlado, regulando a temperatura e a humidade, enquanto as restantes quatro, além de controlar esses parâmetros, submergem os materiais em água, que circula num sistema fechado de recirculação, alimentado por bombas e por sistema de arrefecimento.

Conforme se pode observar na Tabela 5.1, o consumo de eletricidade no CTCV foi de 877 611,86 kWh em 2022 e de 714 608,75 kWh em 2023, o que representa uma redução de cerca de 38% no consumo de energia de um ano para o outro. Para uma melhor compreensão deste decréscimo e tendo em conta que o CTCV contava com 66 colaboradores em 2022 e 74 colaboradores em 2023, apresento abaixo o gráfico da Fig. 5.7 que ilustra a energia consumida por colaborador nos dois anos em questão. O gráfico ajuda a contextualizar a variação no consumo energético, considerando o número de colaboradores de cada ano.

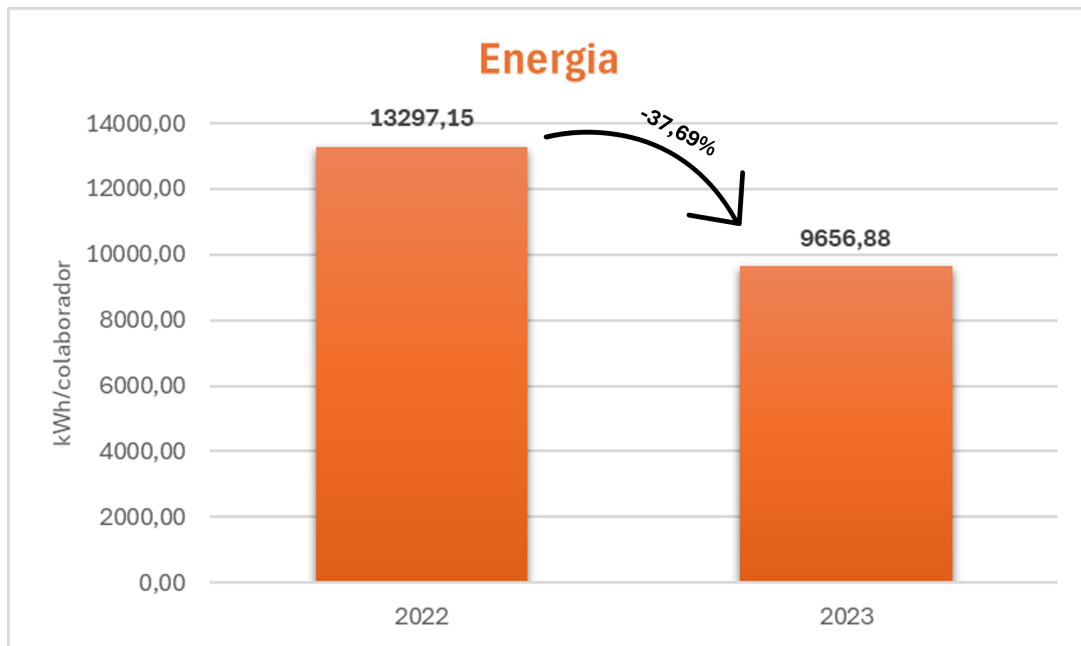


Figura 5.7: Gráfico da quantidade de Energia Elétrica consumida por colaborador.

A APA fornece os Fator de Emissão relativos à produção de eletricidade na unidade tCO₂eq/MWh [65]. Como os dados de consumo de eletricidade, obtidos através das faturas, estão expressos em kWh, foi necessário realizar uma conversão simples, dividindo o fator de emissão por 1000, de modo a obter a unidade de tCO₂eq/kWh. Com o FE ajustado, foi possível calcular a PC, multiplicando-o pelos DA correspondentes ao consumo de eletricidade.

Tabela 5.11: Apresentação da contribuição da eletricidade para a PC.

| Atividade | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|------------------|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| Energia Elétrica | 0,169 tCO ₂ /MWh | 0,000169 | 148,32 | 120,77 |

Em termos de PC, observou-se uma redução de 23% de 2022 a 2023 (Fig. 5.8), o que sugere que o CTCV conseguiu gerar um contributo positivo na diminuição das suas emissões. Reflexo das boas práticas sustentáveis implementadas pela organização ao longo desse período.

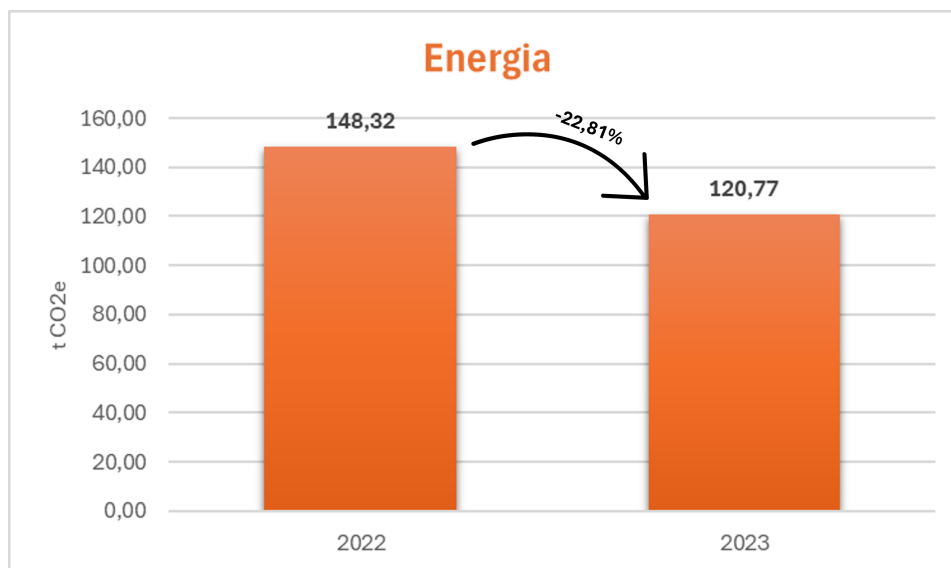


Figura 5.8: Gráfico da contribuição da Energia Elétrica para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

É relevante destacar que o centro tecnológico dispõe de uma central fotovoltaica, com uma unidade de miniprodução instalada no lote 7. Em 2022, essa instalação gerou um total de 127 921 kWh, enquanto que em 2023 a produção aumentou para 136 719 kWh. Embora parte essa energia seja destinada à venda, a produção fotovoltaica representa, de forma geral, um ponto positivo para o CTCV, contribuindo para a redução da PC.

5.2.6 Fontes Móveis (Elétricos)

Desde 2021, o CTCV tem vindo a investir na frota de veículos elétricos. O primeiro automóvel elétrico foi adquirido em julho de 2021 e, atualmente, o centro tecnológico disponibiliza cinco veículos para os seus serviços. Até 2022, a frota contava com apenas três veículos, tendo sido adquiridos mais dois em janeiro de 2023. Como mencionado no capítulo relativo às fontes móveis a gásóleo, os colaboradores do CTCV dependem de deslocações físicas para realizar tarefas de apoio a outras empresas, o que implica um elevado número de quilómetros percorridos diariamente pela frota. Embora os veículos elétricos representem uma alternativa mais sustentável em relação aos automóveis a combustão, também contribuem para a PC, uma vez que a energia elétrica necessária para o carregamento provém, em grande parte, de fontes de combustão. Por este motivo, foi também efetuado o cálculo da PC associada às fontes móveis elétricas.

Para a análise dos dados relativos aos veículos elétricos, foi registado o total de quilómetros percorridos por cada veículo. A partir da informação disponibilizada na plataforma interna, foi subtraído o número de quilómetros percorridos nos meses de 2024. Concluiu-se que, em média, foram percorridos 1 866 km por mês e com base nesse valor, foi possível discriminar os quilómetros percorridos em 2022 (64 820,29 km) e em 2023 (71 022,78 km). Posteriormente, os quilómetros percorridos foram convertidos em kWh, e, tal como para a eletricidade consumida, foi calculada a respetiva pegada de carbono.

Foi utilizado o mesmo fator de cálculo aplicado à eletricidade consumida pelo CTCV, uma vez que o FE é o mesmo para ambos os casos e está expresso em MWh, enquanto a unidade do DA é o kWh.

Tabela 5.12: Apresentação da contribuição dos veículos elétricos para a PC.

| Atividade | Fator de emissão | Fator de cálculo (tCO ₂ eq) | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|------------------|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| Energia Elétrica | 0,169 tCO ₂ /MWh | 0,000169 | 1,64 | 1,80 |

Verificou-se, gráfico da figura 5.9 um aumento aproximado de 9% nas emissões de CO₂ equivalente, o que pode ser explicado pela aquisição das duas viaturas elétricas adicionais em 2023.



Figura 5.9: Gráfico da contribuição da Energia Elétrica para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.7 Água

A procura de fatores de emissão nacionais específicos para as emissões indiretas de âmbito 3 foi particularmente difícil. Como resultado, a fonte mais viável para a recolha desses dados foi o DEFRA (Department for Environment, Food Rural Affairs), um órgão governamental do Reino Unido. Este organismo disponibiliza anualmente relatórios sobre as emissões GEE, incluindo fatores de conversão necessários para os cálculos. O DEFRA oferece três conjuntos distintos de fatores de conversão em formato Excel: um destinado a utilizadores iniciantes, outro para utilizadores mais avançados devido à complexidade e volume de informação, e um terceiro conjunto que contém a mesma informação do segundo, mas organizado de forma a ser compatível com processos automatizados [66][67].

Para uma análise mais aprofundada, e considerando que todos os colaboradores consomem água, é possível observar, no gráfico da figura 5.10, a quantidade de água consumida por colaborador nos anos de 2022 e 2023. Verifica-se que o consumo se manteve praticamente constante

ao longo dos dois anos, apresentando uma variação mínima.

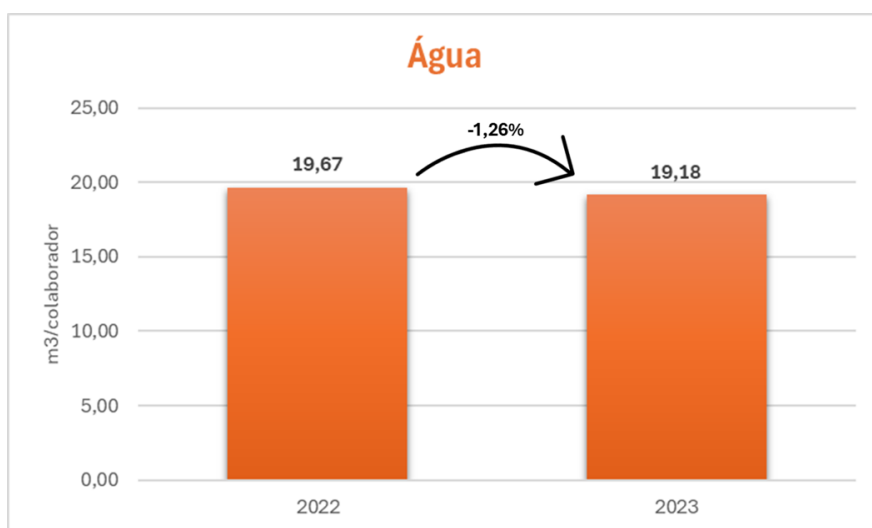


Figura 5.10: Gráfico da quantidade de água consumida por colaborador.

Foram utilizados os fatores de emissão disponíveis na folha Excel *Water Supply* para o cálculo da PC associada ao consumo de água, de cada um dos anos de referência. Ou seja, os FE fornecidos pelo DEFRA apresentaram variações entre os anos de 2022 e 2023, conforme ilustrado na Tabela 5.13. Para obter o resultado em toneladas de CO₂ equivalente, foi necessário apenas dividir o valor obtido pela multiplicação do FE com o DA por 1000.

Tabela 5.13: Contribuição do consumo de água para a PC.

| Fonte do fator de emissão | Tipo de Atividade | Fator de emissão 2022 | Fator de emissão 2023 | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|-------------------|---|---|----------------------------|----------------------------|
| DEFRA | Água da rede | 0,149 kgCO ₂ eq/m ³ | 0,177 kgCO ₂ eq/m ³ | 0,19 | 0,25 |

O resultado do impacto do consumo de água, sendo o CTCV uma empresa de serviços, não foi relevante (Fig. 5.11). Quando convertido em emissões de CO₂ equivalente, o peso do consumo de água não é elevado, o que significa que não tem um efeito substancial no total da PC da empresa.

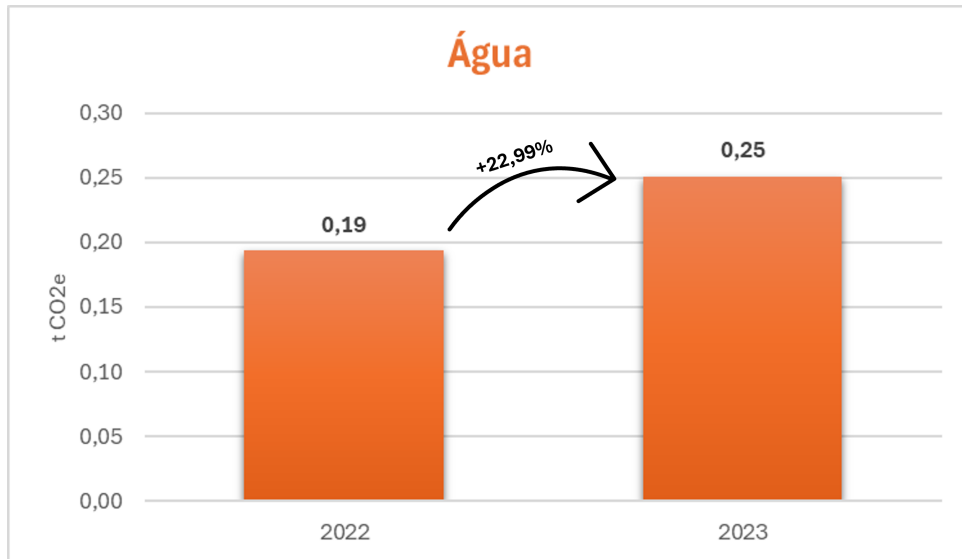


Figura 5.11: Gráfico da contribuição do consumo de água para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.8 Resíduos

O fator de emissão utilizado para o cálculo da pegada de carbono relacionado à produção de resíduos, foi o fornecido pelo DEFRA, disponível na folha Excel *Waste Disposal*. Neste caso, consideram-se os resíduos destinados à eliminação, ou seja, aqueles que são encaminhados para aterro. Em 2022 e 2023, o resíduo em questão corresponde ao código LER 101208 – resíduos provenientes da produção de peças cerâmicas, tijolos, ladrilhos, telhas e outros produtos de construção após o processo térmico. No total, em 2022, foram geradas 87,78 toneladas, o que equivale a 87 780 kg de resíduos. Já em 2023, a produção de resíduos foi de 100,64 toneladas, ou seja, 100 640 kg.

Neste caso, o FE utilizado para 2022 foi igual ao FE de 2023. Ou seja, não houve variação entre os dois anos em relação ao valor aplicado para o cálculo da pegada de carbono associada à produção de resíduos.

Tabela 5.14: Contribuição da produção de resíduos para a PC.

| Fonte do fator de emissão | Tipo de Atividade | Fator de emissão 2022 | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DEFRA | Resíduos para eliminação (D1) | 1,23 kgCO ₂ eq/ton | 0,108 | 0,124 |

Pode-se observar no gráfico da Figura 5.12 um ligeiro aumento de aproximadamente 7% na quantidade de resíduos produzidos de 2022 para 2023.

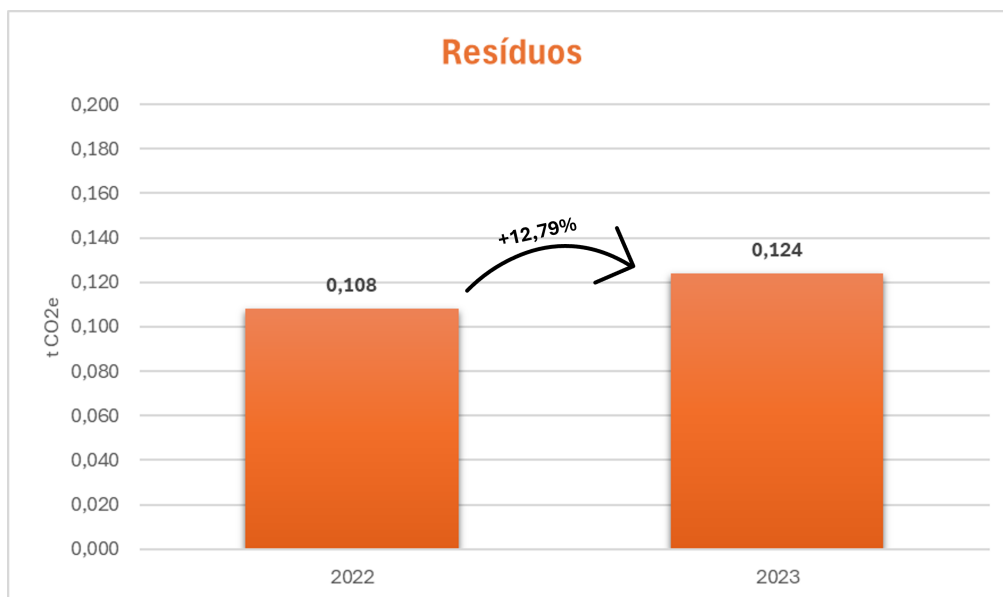


Figura 5.12: Gráfico da contribuição da produção de resíduos para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.9 Viagens de Avião

O fator de emissão utilizado para calcular as emissões associadas às viagens de avião de negócios realizadas pelo CTCV foi obtido na folha *Business Travel - Air*. Nos dados fornecidos pelo DEFRA, é necessário selecionar a medida de viagem mais apropriada para cada caso de estudo. No contexto das viagens realizadas pelo CTCV, todas as deslocações de avião são sempre efetuadas na classe económica. Em 2022 e 2023, verificou-se uma variação no valor do FE, conforme ilustrado na tabela 5.15.

Com o auxílio da plataforma interna, foi possível analisar as viagens de negócios realizadas nos anos de 2022 e 2023. Após organização dos dados trabalhados, verificou-se que, em 2022, foram percorridos um total de 31 693,2 km, enquanto que em 2023 o valor aumentou para 65 449,06 km. Assumiu-se, também, que cada viagem foi efetuada por uma única pessoa.

Tabela 5.15: Contribuição das Viagens de Avião para a PC.

| Fonte do fator de emissão | Tipo de Atividade | Fator de emissão 2022 | Fator de emissão 2023 | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DEFRA | Viagens de Avião | 0,14 kgCO ₂ eq/km | 0,13 kgCO ₂ eq/km | 4,46 | 8,81 |

Verifica-se um aumento na pegada de carbono associada às viagens de negócios de 2022 para 2023 (Fig. 5.13), uma vez que em 2022 houve um número inferior de viagens. Este decréscimo nas viagens pode ser atribuído ao impacto contínuo da pandemia de Covid-19, que, apesar das medidas restritivas terem sido dispensadas, ainda influenciou significativamente os padrões de deslocação aérea em 2022.

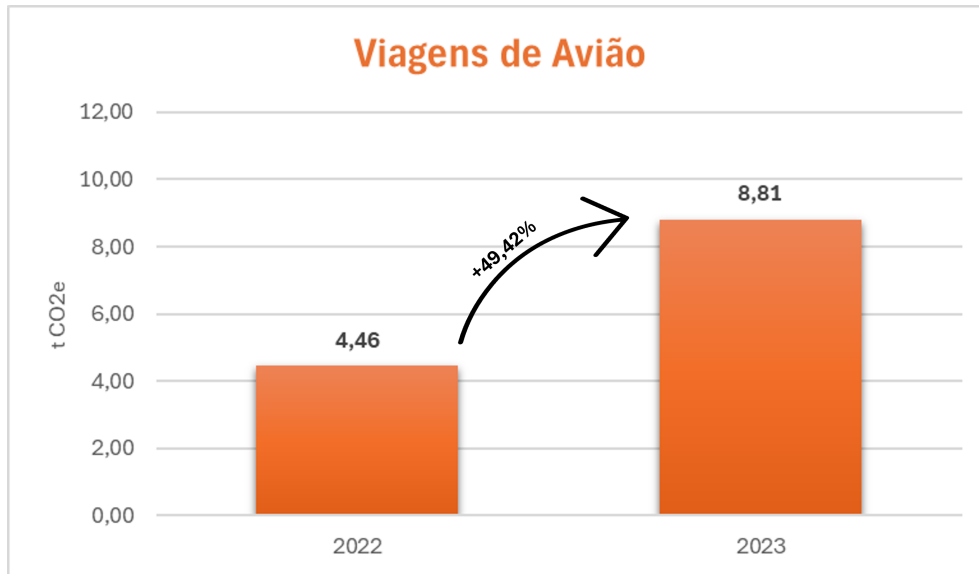


Figura 5.13: Gráfico da contribuição das Viagens de Avião para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.10 Papel

A produção de papel é um processo que envolve elevados níveis de emissão de carbono, tanto pela utilização de energia como pela exploração de recursos naturais.

Considerando que o CTCV é uma empresa de serviços, torna-se imprescindível contabilizar o impacto ambiental relacionado com o consumo de papel. Em 2022, a empresa registou um consumo de 8 toneladas de papel, valor que, no entanto, aumentou para 12 toneladas em 2023. Este crescimento no consumo de papel pode refletir tanto o crescimento da equipa quanto alterações nos hábitos de utilização de papel dentro da organização, o que exige uma análise cuidadosa das suas implicações ambientais.

Para uma análise mais aprofundada, é possível observar na figura 5.14 a quantidade de papel consumido por colaborador. Em 2022, o consumo foi de 121,21 kg por colaborador, enquanto em 2023 esse valor aumentou para 162,16 kg. Vale relembrar que, em 2022, o CTCV contava com 66 colaboradores, número que subiu para 74 em 2023. Para além do reforço no número de colaboradores, o aumento do consumo de papel pode ser atribuído à expansão das atividades da organização.

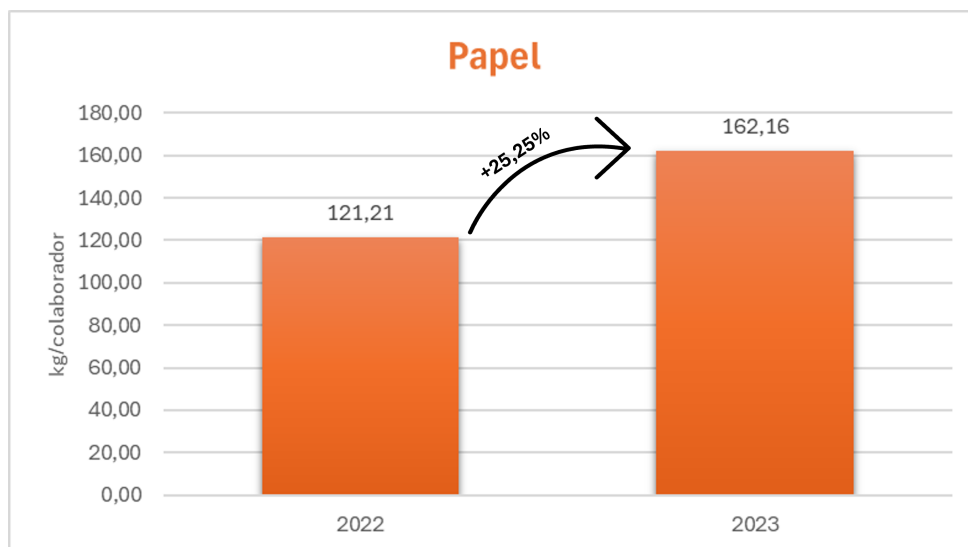


Figura 5.14: Gráfico da quantidade de papel consumido por colaborador.

Novamente, foi utilizado o fator de emissão fornecido pelo DEFRA, conforme indicado na folha *Material Use*, sendo que os valores aplicados variaram entre 2022 e 2023.

Tabela 5.16: Contribuição do consumo de papel para a PC.

| Fonte do fator de emissão | Tipo de Atividade | Fator de emissão de 2022 | Fator de emissão de 2023 | 2022 (tCO ₂ eq) | 2023 (tCO ₂ eq) |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DEFRA | Papel | 919,40 kgCO ₂ eq/ton | 910,48 kgCO ₂ eq/km | 7,36 | 10,93 |

O aumento da pegada de carbono entre os anos de 2022 e 2023 pode ser, atribuído ao aumento do consumo de papel.

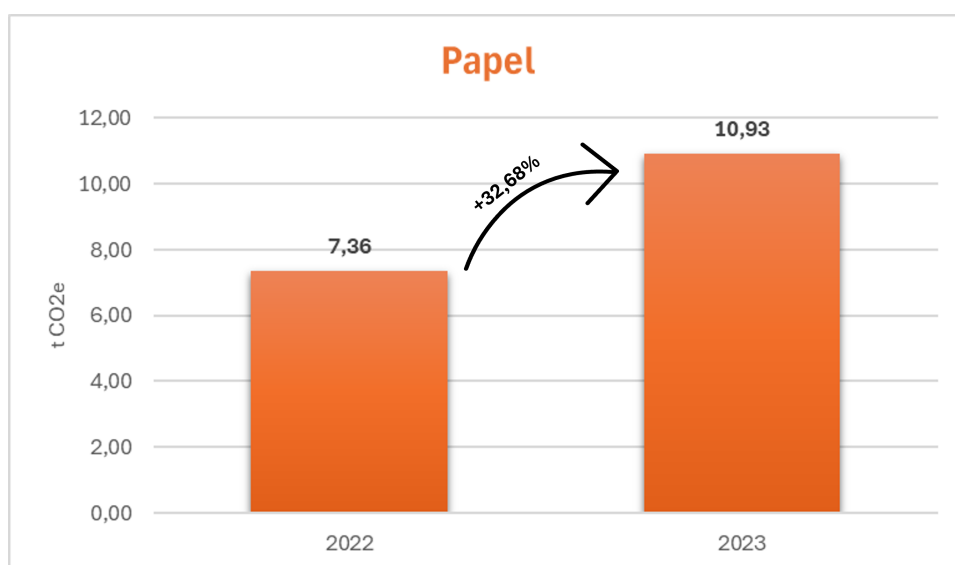


Figura 5.15: Gráfico da contribuição do consumo de papel para a Pegada de Carbono nos anos de 2022 e 2023.

5.2.11 Resultados GHG Protocol

Após o cálculo dos dados relativos à atividade, foi possível determinar o total de Pegada de Carbono emitido pelo CTCV. Este cálculo envolveu a análise detalhada dos diversos fatores (DA), permitindo quantificar as emissões associadas às atividades da organização. A partir desta avaliação, foi possível obter uma estimativa do impacto ambiental do CTCV, fornecendo dados relevantes para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e a redução da sua PC.

Uma das principais dificuldades no cálculo da PC, segundo a metodologia GHG Protocol, reside na obtenção dos fatores de emissão. Quando não existem FE, seja a nível nacional ou internacional, torna-se impossível realizar o cálculo da PC. Este caso de estudo, envolveu elementos como Argon, Oxigénio, Azoto e Reagentes Químicos que não foram calculados. Assim, embora seja possível obter uma percepção aproximada do impacto da organização na Pegada de Carbono, a precisão do cálculo fica comprometida.

Na Figura 5.16, é possível verificar uma redução de 41% nas toneladas de CO₂ equivalente, comparando os anos de 2022 e 2023.

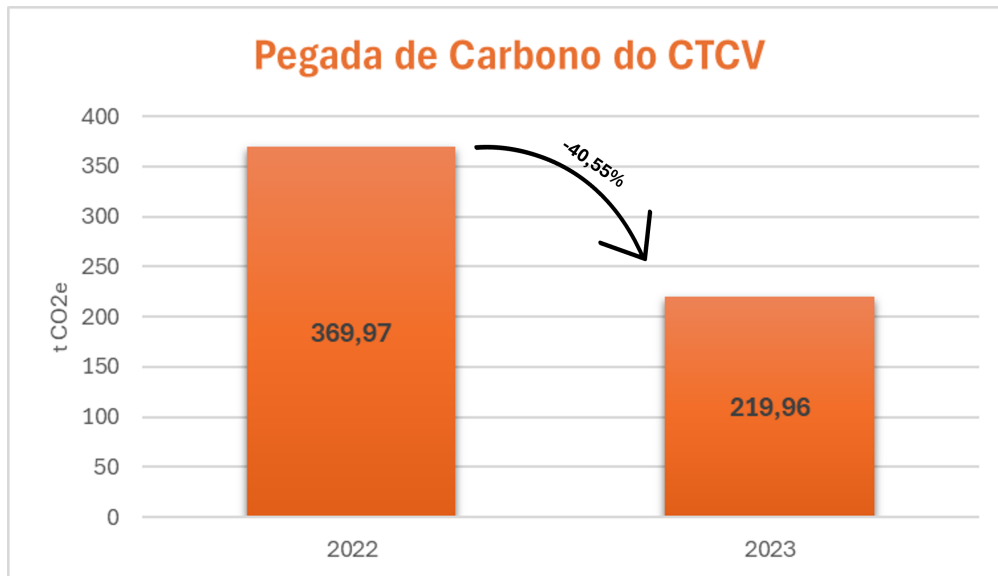


Figura 5.16: Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia GHG Protocol.

Ao realizar uma análise mais detalhada e relacionando com o número de colaboradores, concluiu-se que, em 2022, a emissão foi de 5,61 tCO₂eq por colaborador, enquanto em 2023 essa emissão foi reduzida para 2,97 tCO₂eq por colaborador.

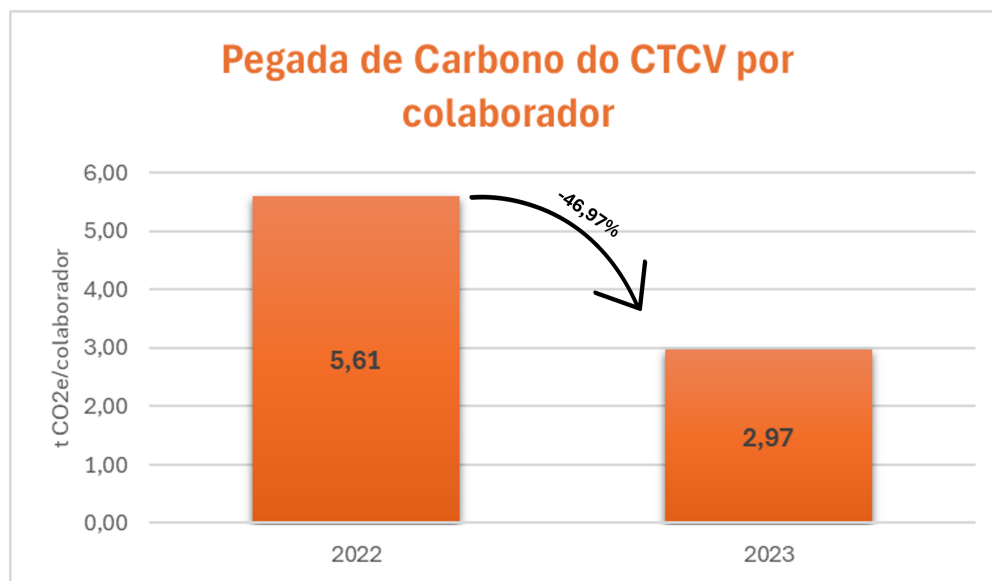


Figura 5.17: Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro por colaborador, segundo a metodologia GHG Protocol.

Em 2022, o principal responsável pela emissão de CO₂ equivalente foi, em particular a fuga do gás R-23, um fluido refrigerante HFC azeotrópico com um elevado potencial de aquecimento global, estimado em 14 800. A emissão de 11 kg deste gás teve um impacto significativo na PC do CTCV. Em seguida, observa-se que a eletricidade continua a ter um peso relevante na PC tanto em 2022 como em 2023 embora tenha registado uma diminuição em 2023. Da mesma forma, o consumo de gasóleo, proveniente da frota de veículos.

Posteriormente à contribuição das fontes móveis a gasóleo, destaca-se o consumo de papel, embora com um peso significativamente mais reduzido, seguido pelas viagens de avião, e, em seguida, pelas fontes móveis elétricas. Outros fatores, como os resíduos, o consumo de água, o gás natural, o óxido nitroso (protoxido de azoto) e o acetileno, apresentaram valores residuais que impediram a sua visualização nos gráficos das Figuras 5.18 e 5.19.

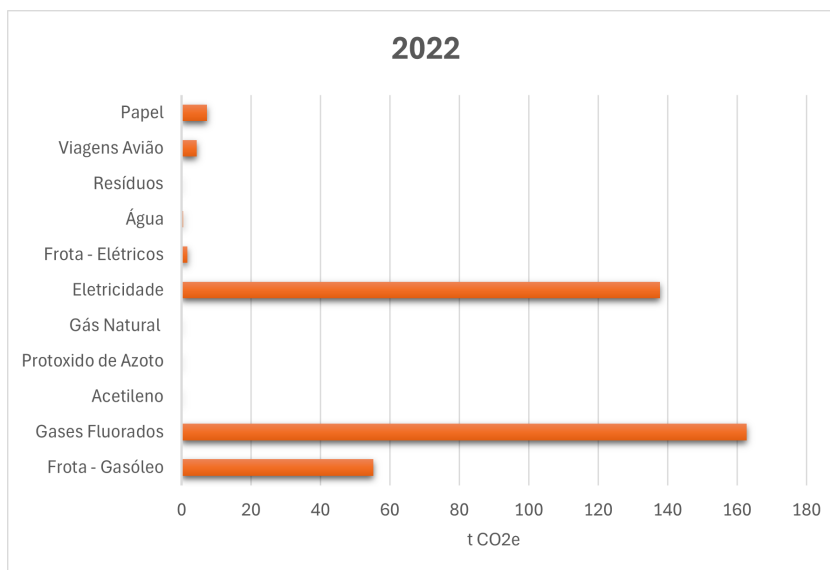


Figura 5.18: Gráfico da contribuição do DA na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022.

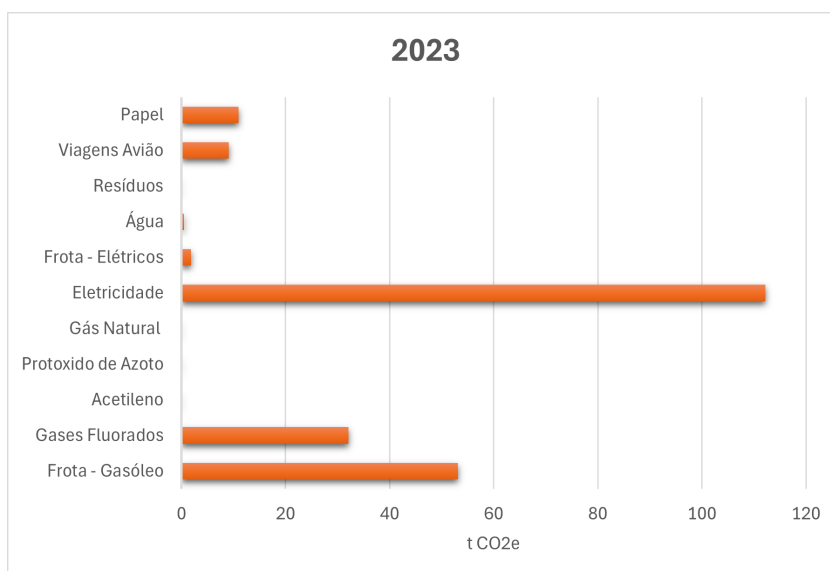


Figura 5.19: Gráfico da contribuição do DA na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023.

De maneira geral, se não tivesse ocorrido a fuga de gases fluorados em 2022, a emissão total de CO₂ equivalente naquele ano teria sido inferior à verificada em 2023. Em 2022, a contribuição para a emissão seria de 207,17 tCO₂eq, enquanto em 2023 registaria-se uma emissão de 187,86 tCO₂eq. Este cenário indica que, na ausência do impacto das fugas de gases fluorados, a PC por colaborador teria sido de 3,14 tCO₂eq em 2022 e de 2,54 tCO₂eq em 2023. Estes valores demonstram uma redução significativa em 2022 na PC por colaborador, evidenciando o efeito das fugas de gases fluorados na análise geral.

Ao comparar os tipos de emissão, podemos observar que, em 2022, as emissões diretas foram as predominantes, enquanto em 2023 as emissões indiretas assumiram maior relevância.

Destaco novamente que, em 2022, a influência dos gases fluorados teve um impacto significativo na PC, o que resultou no maior peso das emissões diretas (Fig. 5.20). Já em 2023, a eletricidade destacou-se como a principal fonte de emissão, o que justifica o maior impacto das emissões indiretas (Fig. 5.21).

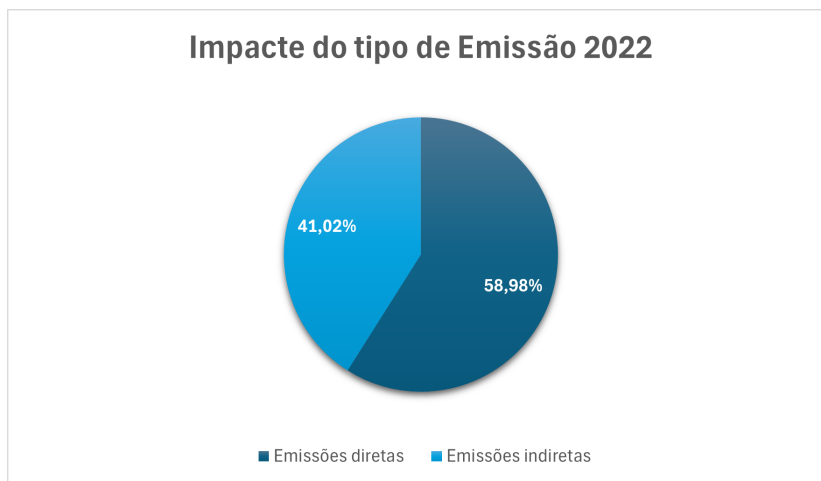


Figura 5.20: Gráfico da contribuição por tipo de emissão na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022.

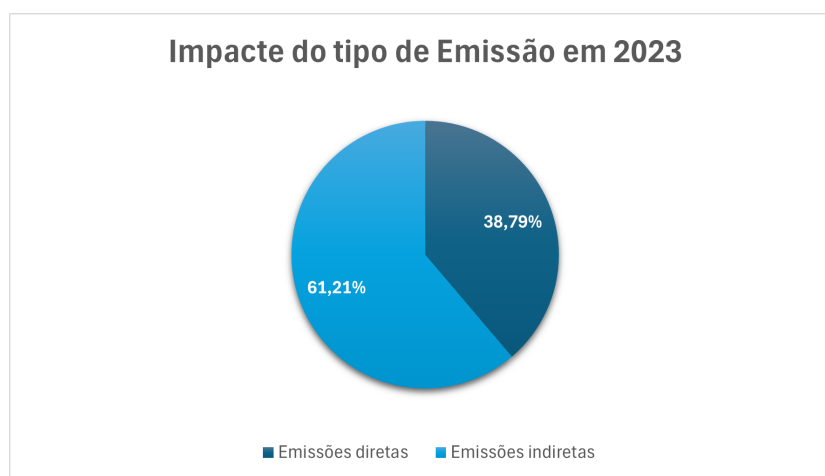


Figura 5.21: Gráfico da contribuição por tipo de emissão na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023.

Observou-se nos gráficos da figura 5.22 e 5.23 um aumento nas emissões do âmbito 3, de 2022 a 2023, impulsionado principalmente pelo maior contributo das viagens aéreas e do consumo de papel. Relativamente ao âmbito 1, que abrange as emissões diretas, este foi o que teve maior relevância em 2022. Contudo, em 2023, o âmbito 2, que se refere às emissões indiretas associadas ao consumo de eletricidade, passou a desempenhar um papel mais significativo, tornando-se o principal responsável pela maior contribuição para a PC.

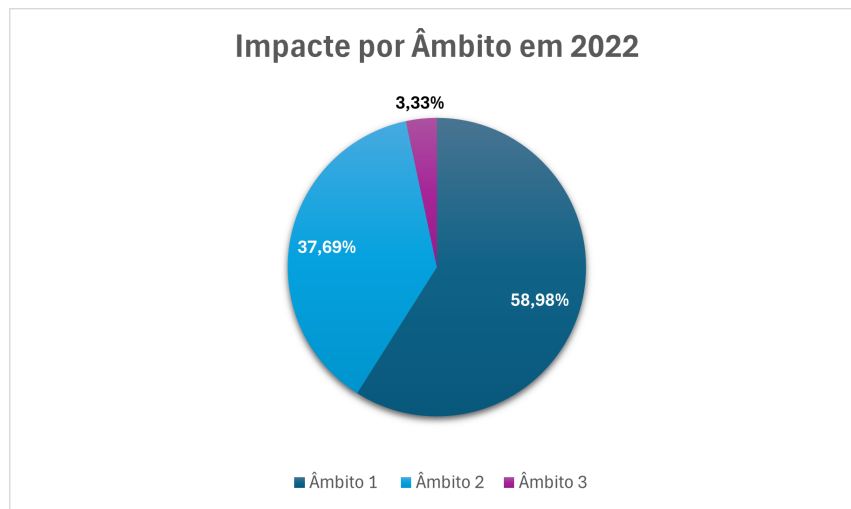


Figura 5.22: Gráfico da contribuição por âmbito na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022.

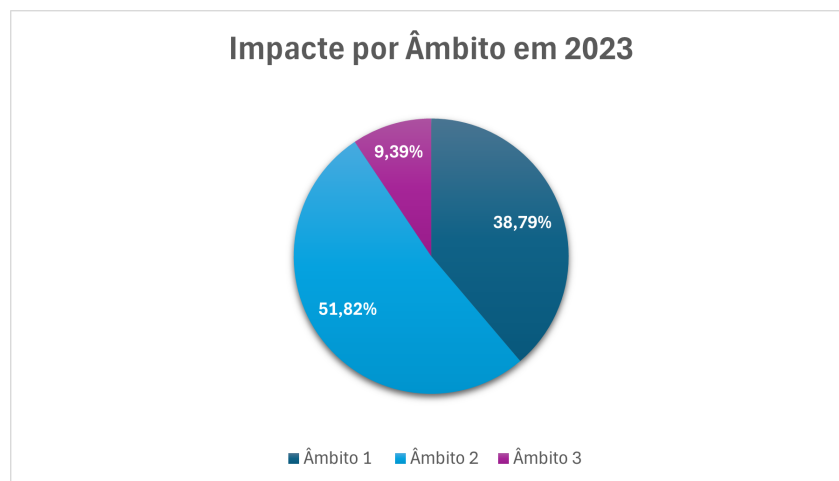


Figura 5.23: Gráfico da contribuição por âmbito na Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023.

Conclui-se, portanto, que, embora o CTCV continue a contribuir para a PC, tem demonstrado esforços significativos para se tornar mais sustentável. A aquisição de carros elétricos e a implementação de uma central fotovoltaica são exemplos dessas iniciativas. No entanto, o CTCV compromete-se a prosseguir com a adoção de medidas sustentáveis que visem a redução da pegada de carbono, com o objetivo de gerar um impacto ambiental cada vez mais positivo. Apesar das dificuldades encontradas na obtenção de FE, com base na metodologia GHG Protocol, e da impossibilidade de calcular a PC para todos os DA inventariados, foi possível ter uma visão geral do impacto ambiental do CTCV.

5.3 Aplicação e Resultados com base na ACV

Após a organização das entradas e saídas dos dados de atividade, conforme apresentado na tabela 5.1, os processos existentes na base de dados *Ecoinvent*, versão 3.9.1, foram utilizados para a construção do inventário deste estudo. Foram feitas adaptações necessárias com base nos valores fornecidos pelo CTCV, de forma a garantir a precisão e relevância dos dados no contexto específico da pesquisa.

A modelação feita pelo SimaPro para obtenção da pegada de carbono é mais completa, porque para além do cálculo do PAG da organização apresenta as restantes categorias de impacto, como descrito no capítulo 4.2.1. Tendo por base a informação disponibilizada pelo ctcv, foi automatizado o inventário de acordo com os dados atualizados e bem discriminados da base de dados do *Ecoinvent* v3.9.1. O inventário dos dados da organização está descrito na Tabela 5.17.

Para efetuar a modelação no SimaPro, foram estimados alguns valores que, embora não estivessem inicialmente disponíveis, mostraram-se pertinentes para o contexto em análise. Um desses valores foi o transporte de resíduos, para o qual se considerou o total de resíduos destinados à eliminação, nomeadamente para aterro, e a distância de 25 km percorrida durante o processo. Adicionalmente, foi estimado o número de paletes adquiridas. Apesar do CTCV receber um número significativo de paletes dos clientes, com o objetivo de transportar os seus produtos, existe sempre a necessidade de manter uma quantidade de paletes sob responsabilidade do centro tecnológico para garantir o funcionamento adequado das operações.

Nesta metodologia, foram considerados todos os resíduos produzidos no CTCV, uma vez que a abordagem adotada abrange todo o ciclo de vida da organização, de jusante a montante. Assim, fazia sentido incluir também os resíduos gerados. Alguns desses resíduos, que constam no inventário, foram igualmente estimados, como os metais, a madeira e os plásticos, pois, embora não estejam registados no MIRR, pode haver sempre a produção desses materiais. Considerou-se ainda que a quantidade de papel que entra na organização é equivalente à que sai. Além disso, para o ano de 2023, foram estimados os resíduos provenientes de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEEs), tendo em conta as e-GARs emitidas em 2024, referente a esta tipologia de resíduos enviados para operador licenciado.

Tabela 5.17: Inventário dos dados da organização necessários para modelar o ciclo de vida do CTCV.

| Dados de Atividade | Designação no SimaPro | Unidade | Quantidade 2022 | Quantidade 2023 |
|--|--|----------------|-----------------|-----------------|
| Área ocupada | Occupation, industrial area | m ² | 15509 | 15509 |
| Frota - Combustão | Transport, passenger car with internal combustion engine RER market for transport, passenger car with internal combustion engine Cut-off, U | km | 1127,31 | 1083,30 |
| Viagens de Avião | Transport, passenger aircraft, medium haul GLO transport, passenger aircraft, medium haul Cut-off, U | km/pessoa | 31 693,2 | 65 449,06 |
| Frota - Elétricos | Transport, passenger car, electric GLO market for transport, passenger car, electric Cut-off, U | km | 64820,288 | 71022,78 |
| Transporte rodoviário de resíduos (estimado) | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 RER transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, U | tkm | 2194,5 | 2500 |
| Eletricidade | Electricity, medium voltage PT_2022 market for Cut-off, U | kWh | 877 611,86 | 714 608,75 |
| Central Fotovoltaica | Electricity, low voltage PT electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted Cut-off, U | kWh | 127921 | 136719 |
| Papel | Printed paper, offset CH offset printing, per kg printed paper Cut-off, U | kg | 8000 | 12000 |
| Produtos Químicos | Chemical, inorganic GLO chemical production, inorganic Cut-off, U | kg | 280 | 380 |
| Acetileno | Acetylene RER market for acetylene Cut-off, U | kg | 49,35 | 65,8 |
| Argon | Argon, liquid RER market for argon, liquid Cut-off, U | kg | 262,25 | 355,41 |
| Oxigénio | Oxygen, liquid RER market for oxygen, liquid Cut-off, U | kg | 60,59 | 75,74 |
| Protóxido de azoto | Nitrous oxide RER nitrous oxide production Cut-off, U | kg | 37,5 | 0 |
| Azoto | Nitrogen, liquid RER market for nitrogen, liquid Cut-off, U | kg | 11,76 | 0 |
| Gases Fluorados (R-23) | Methane, trifluoro-, HFC-23 | kg | 11 | - |
| Gases Fluorados (R-452A) | 1,1-difluoroethane, HFC-152a market for APOS, U | kg | - | 15 |

| | | | | |
|---|--|----------------|-------|--------|
| Gás Natural | Natural gas, high pressure PT natural gas _2022, high pressure, import from NG Cut-off, U | m ³ | 46,54 | 23,04 |
| Paletes (estimado) | EUR-flat pallet RER EUR-flat pallet production Cut-off, U | unidade | 5 | 5 |
| Óleos Lubrificantes (estimado) | Lubricating oil RER market for lubricating oil Cut-off, U | kg | 5 | 5 |
| Massas Lubrificantes (estimado) | Lubricating oil RER market for lubricating oil Cut-off, U | kg | 5 | 5 |
| Água da rede | Water, well, PT | m ³ | 1298 | 1419 |
| LER 101208 - Caco cerâmico | Waste brick Europe without Switzerland treatment of waste brick, sorting plant Cut-off, U | kg | 87780 | 100640 |
| LER 150110 - Embalagens contaminadas | Waste polyethylene/polypropylene product Europe without Switzerland treatment of waste polyethylene/polypropylene product, collection for final disposal Cut-off, U | kg | 45 | 33 |
| LER 161001 - Resíduos líquidos aquosos contendo substâncias perigosas | Hazardous waste, for underground deposit RER market for hazardous waste, for underground deposit Cut-off, U | kg | 280 | 381 |
| LER 150101 - Papel (estimado) | Waste paperboard PT market for waste paperboard Cut-off, U | kg | 8000 | 12000 |
| LER 120101- Aparas e limanhas de metais ferrosos (estimado) | Steel and iron (waste treatment) GLO recycling of steel and iron Cut-off, U | kg | 10 | 10 |
| LER 130508 - Óleos para valorização (estimado) | Waste mineral oil Europe without Switzerland treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration Cut-off, U | kg | 50 | 50 |
| LER 150102 - Plástico (estimado) | Mixed plastics (waste treatment) GLO recycling of mixed plastics Cut-off, U | kg | 20 | 20 |
| LER 150103 - Madeira (estimado) | Waste wood, untreated PT market for waste wood, untreated Cut-off, U | kg | 100 | 100 |
| LER 200140 - Metais (estimado) | Steel and iron (waste treatment) GLO recycling of steel and iron Cut-off, U | kg | 10 | 10 |
| LER 200301 - Misturas de resíduos urbanos equiparados (estimado) | Municipal solid waste PT market for municipal solid waste Cut-off, U | kg | 1320 | 1320 |
| LER 160214 e LER 160213 - REEs (estimado para 2023) | Electronics scrap from control units RER treatment of electronics scrap from control units Cut-off, U | kg | 31 | 1250 |

Foram utilizados dados genéricos provenientes da base de dados *Ecoinvent* 3.9.1 (2024), com base nos anos laborais de 2022 e 2023. Estes dados serviram para modelar os consumos e as emissões, para proceder à modelação dos impactes ambientais gerados pelo CTCV, através do software SimaPro [58]. O método utilizado foi o PEF (EF 3.1), método da pegada ambiental das organizações [57].

Para o cálculo da pegada de carbono, segundo a metodologia de ACV da organização, é fundamental a recolha de informação adicional além do inventário, como, por exemplo, os fluxos de energia existentes para os anos de 2022 e 2023. Esta informação complementar permite uma análise mais precisa e detalhada dos impactos ambientais associados às atividades da organização, assegurando a fiabilidade dos resultados obtidos.

Dessa forma, apresenta-se na Tabela 5.18 o mix de eletricidade de Portugal, conforme disponível na base de dados *Ecoinvent* 3.9.1, atualizado para os anos de 2022 e 2023. Esta atualização foi realizada com base em informações provenientes das Redes Energéticas Nacionais (REN), da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) e da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), com o objetivo de refletir os dados mais atuais sobre os impactos ambientais gerados pela rede de eletricidade em Portugal. Todos os processos da base de dados *Ecoinvent* 3.9.1 utilizados foram atualizados para incorporar o mix energético nacional, garantindo uma análise mais precisa e representativa dos impactos ambientais associados à eletricidade consumida no país.

Tabela 5.18: Mix elétrico da eletricidade produzida em Portugal no ano de 2022 e 2023 [5][6][7].

| Origem | Contribuição 2022 (%) | Contribuição 2023 (%) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Renováveis | | |
| Eólica | 8,05 | 29,3 |
| Hídrica | 11,57 | 26,7 |
| Solar | - | 8,1 |
| Cogeração renovável | 2,37 | 2,6 |
| Outras Renováveis | 5,54 | 3,9 |
| Resíduos Sólidos Municipais | 0,92 | - |
| Não Renováveis | | |
| Cogeração fóssil | 3,03 | 4,8 |
| Gás Natural | 59,22 | 17,9 |
| Carvão | 1,81 | - |
| Nuclear | 7,49 | - |
| Outros | - | 0,4 |
| Produção por bombagem | - | 6,5 |

O mesmo acontece com o gás natural, que foi modelado conforme a informação disponi-

bilizada pelo relatório de Energia em Portugal (2023) da DGEG, relativamente aos países de origem da sua importação. O processo está representado na Tabela 5.19.

Tabela 5.19: Importação de gás natural em Portugal no ano de 2022 e 2023.

| País de origem | Contribuição 2022 (%) | Contribuição 2023 (%) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Trindade e Tobago | 6,1 | 4,48 |
| Espanha | 8,41 | 11,08 |
| Nigéria | 46,9 | 39,42 |
| EUA | 32,2 | 37,45 |
| Rússia | 4,8 | 7,57 |
| Guiné Equatorial | 1,6 | - |

A categoria relevante do SimaPro para avaliar o impacto ambiental do CTCV é o *Climate Change* (kg CO₂ eq). Com base na modelação realizada, conclui-se que o fator de maior impacto foi a eletricidade (Âmbito 2), tanto em 2022 como em 2023. Dessa forma, ao utilizar a metodologia de ACV das organizações, o Âmbito 2 prevalece como a principal fonte de impacto ambiental nos dois anos base.

Observou-se também que alguns fatores de impacto apresentaram diferenças consideráveis quando comparados com a metodologia GHG Protocol. No entanto, outros fatores mostraram variações muito reduzidas, como os gases fluorados, o acetileno, o protoxido de azoto, os resíduos de caco cerâmico e outros materiais, e o gás natural. Essas variações menores indicam que, para determinados impactes ambientais, as duas metodologias produziram resultados bastante semelhantes, enquanto para outros, as discrepâncias foram mais pronunciadas. O resultado negativo associado às paletes está relacionado com o contributo deste material ao longo do seu ciclo de vida, assim como os restantes fatores em análise. Neste caso específico, o ciclo de vida das paletes é considerado neutro, uma vez que, no caso de materiais de embalagem como as paletes, o impacto ambiental é anual, devido à absorção de carbono realizada pela madeira ao longo do tempo. Ou seja, enquanto as paletes podem ter um impacto inicial negativo durante a produção e o transporte, esse impacto é compensado pela capacidade de sequestro de carbono da madeira ao longo do seu ciclo de vida. Dessa forma, a análise reflete uma compensação entre as emissões de carbono e a sua absorção, resultando num impacte ambiental globalmente neutro.

Tabela 5.20: Resultado da avaliação de impacto para o Potencial de aquecimento global total do CTCV.

| Descrição | Dados de Atividade | Potencial de aquecimento global - GWP-total 2022 (tCO ₂ eq.) | Potencial de aquecimento global - GWP-total 2023 (t CO ₂ eq.) |
|------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Transporte em serviço | Frota - Combustão | 94,3 | 90,61 |
| Transporte em serviço | Viagens de Avião | 3,25 | 6,71 |
| Transporte em serviço | Frota - Elétricos | 10,74 | 11,76 |
| Transporte de resíduos | Resíduos (estimado) | 0,34 | 0,38 |
| Eletricidade da rede | Eletricidade | 331,46 | 257,80 |
| Eletricidade renovável | Central Fotovoltaica | 0,00039 | 0,00042 |
| Emissões da Atividade | Papel | 0,39 | 0,58 |
| Emissões da Atividade | Produtos Químicos | 0,48 | 0,65 |
| Emissões da Atividade | Acetileno | 0,13 | 0,17 |
| Emissões da Atividade | Argon | 0,33 | 0,44 |
| Emissões da Atividade | Oxigénio | 0,03 | 0,04 |
| Emissões da Atividade | Protóxido de azoto | 0,10 | 0 |
| Emissões da Atividade | Azoto | 0,002 | 0 |
| Emissões da Atividade | Gases Fluorados (R-23) | 160,6 | - |
| Emissões da Atividade | Gases Fluorados (R-452A) | - | 32,44 |
| Emissões da Atividade | Gás Natural | 0,033 | 0,017 |
| Emissões da Atividade | Paletes (estimado) | -0,138 | -0,138 |
| Manutenção | Óleos Lubrificantes (estimado) | 0,007 | 0,007 |
| Manutenção | Massas Lubrificantes (estimado) | 0,007 | 0,007 |
| Água da rede | Água | 0,0004 | 0,0005 |
| Resíduos | LER 101208 - Caco cerâmico | 0,62 | 0,71 |
| Resíduos | LER 150110 - Embalagens contaminadas | 0,078 | 0,057 |

| | | | |
|----------|---|-------|-------|
| Resíduos | LER 161001 - Resíduos líquidos aquosos contendo substâncias perigosas | 0,046 | 0,063 |
| Resíduos | LER 150101 - Papel (estimado) | 0,65 | 0,98 |
| Resíduos | LER 120101- Aparas e limanhas de metais ferrosos (estimado) | 0 | 0 |
| Resíduos | LER 130508 - Óleos para valorização (estimado) | 0,14 | 0,14 |
| Resíduos | LER 150102 - Plástico (estimado) | 0 | 0 |
| Resíduos | LER 150103 - Madeira (estimado) | 0,052 | 0,052 |
| Resíduos | LER 200140 - Metais (estimado) | 0 | 0 |
| Resíduos | LER 200301 - Misturas de resíduos urbanos equiparados (estimado) | 1,26 | 1,26 |
| Resíduos | LER 160214 e LER 160213 - REEs (estimado para 2023) | 0,033 | 1,31 |

Chegou-se à conclusão de que o valor total da PC do CTCV foi de 604,86 t CO₂ eq. em 2022 e de 405,87 t CO₂ eq. em 2023 (Fig. 5.24).

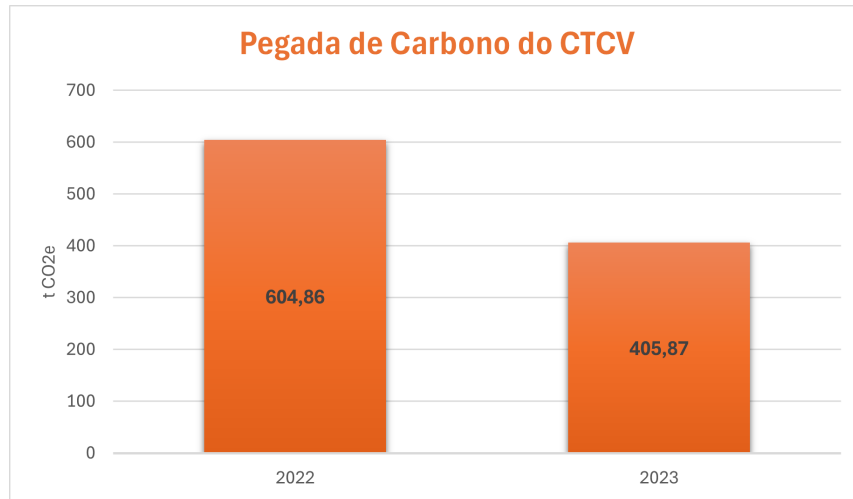


Figura 5.24: Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia ACV.

Uma análise mais aprofundada permite verificar que, com a modelação realizada pelo SimaPro, os resultados indicam uma redução de 40% no impacto ambiental entre 2022 e 2023 (Fig. 5.25). Em 2022, a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂) por colaborador foi de 9,16 toneladas, enquanto que em 2023 esse valor diminuiu para 5,48 toneladas.

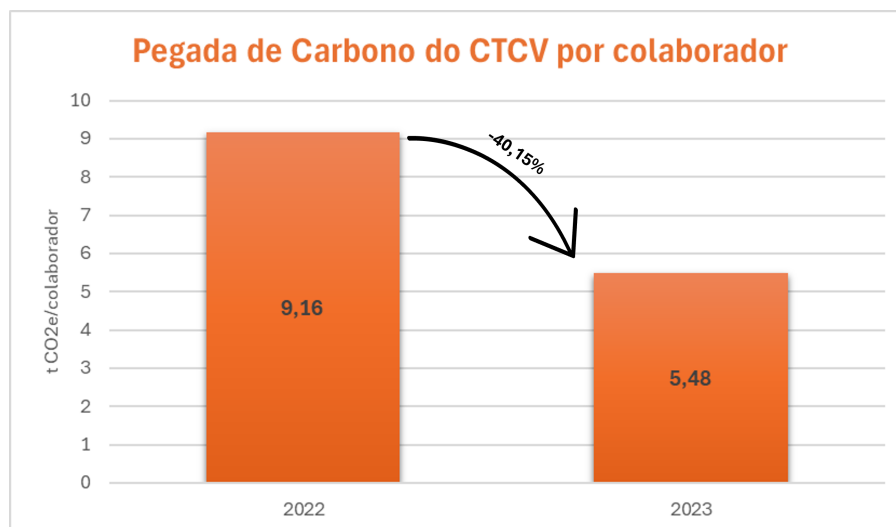


Figura 5.25: Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro por colaborador nos anos de 2022 e 2023, segundo a metodologia ACV.

A interpretação do ciclo de vida constitui a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados obtidos na Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV) são resumidos e discutidos, servindo de base para a formulação de conclusões, recomendações e decisões, sempre em conformidade com os objetivos e o âmbito definidos inicialmente. Nesta fase, a interpretação das figuras 5.26 e 5.27 tem como objetivo identificar as questões e opções ambientais mais relevantes, particularmente no que se refere à possibilidade de redução dos impactes ambientais.

Como mencionado no capítulo 4.2.1 uma das principais vantagens da modelação realizada

pelo SimaPro é a sua capacidade de apresentar os resultados de forma detalhada, através de uma abordagem baseada no ACV, que abrange diversas categorias dentro do sistema. A análise das figuras 5.26 e 5.27 revela que, de forma geral, a eletricidade é o principal fator de impacto ambiental, não só no potencial de aquecimento global, mas também em quase todas as categorias analisadas.

Especialmente em 2023, apesar de a eletricidade continuar a ter um impacto elevado no cálculo da PC, destaca-se uma redução significativa em categorias como a toxicidade humana, a eutrofização de água doce, as partículas em suspensão e o uso de recursos minerais e metálicos, que apresentaram valores consideravelmente mais baixos em comparação com o ano anterior. Este comportamento pode ser explicado pela adaptação dos fluxos de entradas e saídas inventariados e modelados, os quais são ajustados conforme o impacto de cada categoria. No caso específico da toxicidade humana, por exemplo, as emissões associadas às atividades desempenham um papel preponderante devido ao consumo de gases e produtos químicos, uma vez que uma variedade de reagentes é utilizada nos ensaios laboratoriais realizados no CTCV.

Relativamente ao uso do solo, a ocupação dos edifícios do CTCV, que ainda é bastante elevada, continua a exercer um impacto significativo nas emissões da atividade, refletindo a importância da área ocupada para o desenvolvimento das operações. Este fator de uso de solo, aliado a outros fluxos de entrada e saída, tem um peso considerável no cálculo das emissões associadas à atividade, o que explica a relevância contínua deste parâmetro nas análises da pegada ambiental.

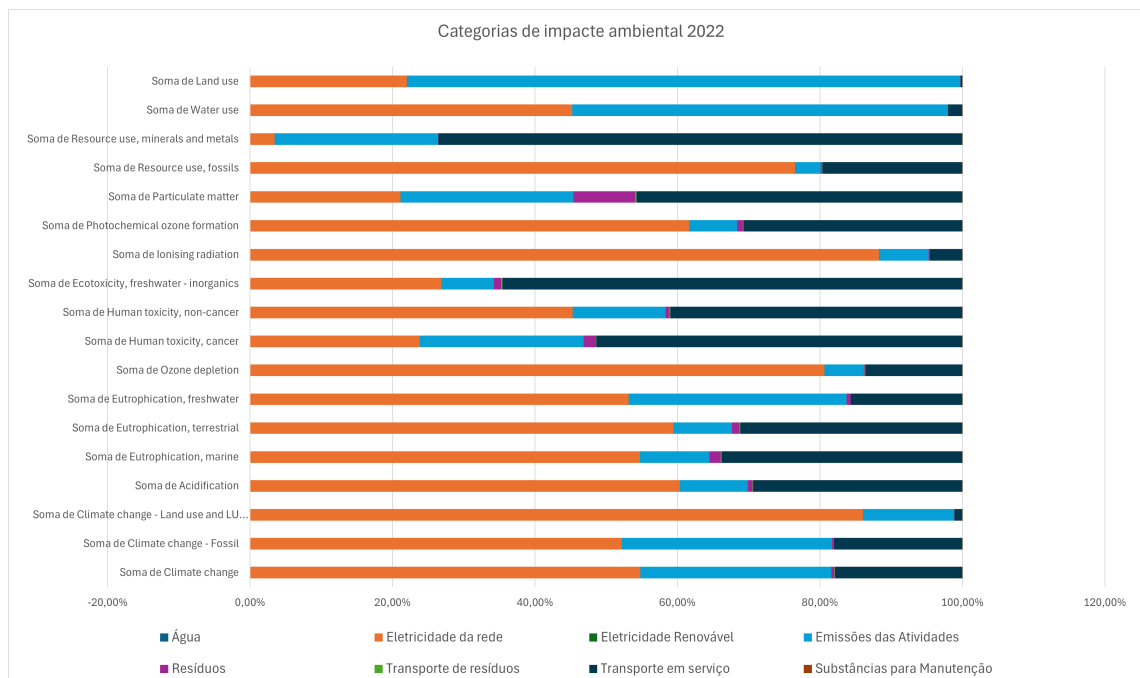


Figura 5.26: Gráfico da Distribuição de impactos por classes de fluxos do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2022.

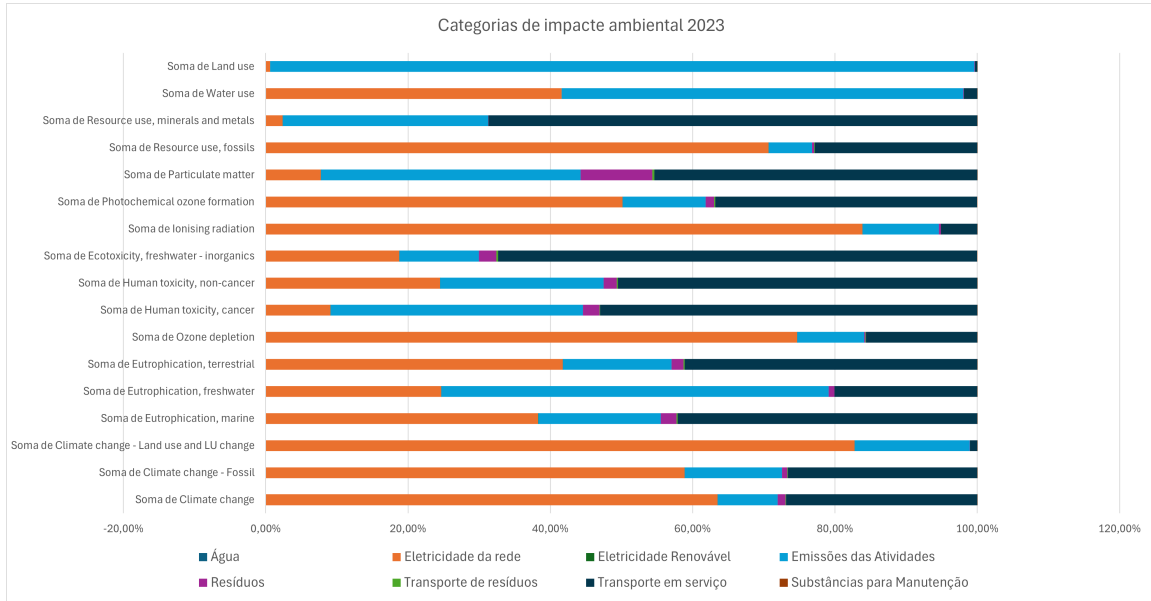


Figura 5.27: Gráfico da Distribuição de impactos por classes de fluxos do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro em 2023.

6

Discussão dos Resultados

A obtenção dos fatores de emissão necessários e atualizados é um elemento essencial para o cálculo da pegada de carbono, uma vez que, para garantir precisão no cálculo, é fundamental dispor de FE específicos. Quanto mais atualizados e alinhados com a realidade nacional forem esses fatores, maior será a fiabilidade dos resultados obtidos. A utilização de uma base de dados robusta e atualizada assegura, assim, que os cálculos reflitam de forma mais precisa a realidade ambiental do contexto analisado, aumentando a credibilidade e a relevância dos dados gerados.

Uma das principais limitações da metodologia GHG Protocol foi a dificuldade na recolha dos fatores de emissão, especialmente quando não estavam disponíveis fatores específicos para a realidade nacional. Nesses casos, foi possível recorrer a FE internacionais, mas devido à abrangência dos fluxos analisados, houve situações em que DA do caso de estudo não puderam ser calculados por falta de FE. Este problema é particularmente recorrente no caso de certos gases, para os quais nem sempre existem FE específicos. Dessa forma, surge a necessidade de utilizar softwares com licenças pagas, como o SimaPro, que oferecem uma abordagem mais estruturada e transparente. O SimaPro, ao contar com uma base de dados atualizada e abrangente, permite uma análise mais precisa e completa dos fatores de emissão. Além disso, outra limitação significativa foi a dificuldade na recolha dos DA.

Considerando que a modelação realizada pelo SimaPro abrange todo o ciclo de vida dos fluxos inventariados, é importante destacar que, por esse motivo, os resultados obtidos através do software tendem a apresentar um impacto ambiental superior em comparação com a metodologia GHG Protocol. Isto deve-se ao facto de que os FE utilizados pelo GHG Protocol nem sempre refletem uma análise tão abrangente, deixando de fora algumas fases do ciclo de vida que o SimaPro contempla de forma mais completa. No entanto, apesar dessa diferença, ao comparar os resultados das duas metodologias, verificou-se que os DA que apresentaram a maior variação, com um impacto consideravelmente mais baixo no SimaPro, foram os relativos ao consumo de água e papel. Por outro lado, os valores que apresentaram um peso mais significativo, com um impacto ambiental mais elevado, foram a eletricidade, a frota a combustão e a frota elétrica.

Em relação aos restantes dados de atividade, os cálculos realizados pelas duas metodologias apresentaram resultados consistentes, sem grandes variações. Este padrão de resultados demonstra como as metodologias podem divergir em determinados pontos, especialmente quando a Avaliação do Ciclo de Vida e o Fator de Emissão considerados são distintos, mas também ressalta a necessidade de uma análise detalhada dos diferentes impactes ao longo de todo o

processo.

Quando comparados os resultados obtidos através das duas metodologias, observa-se um aumento substancial do resultado final no método de ACV (Fig. 6.1). Como já mencionado anteriormente, discrepância pode ser justificada pela diferença nos critérios adotados pelas duas abordagens. A metodologia baseada no ACV, calculada por meio do software SimPro, considera uma análise mais abrangente, tendo em conta não apenas as entradas e saídas do sistema, mas também todo o ciclo de vida associado a esses fluxos. Além disso, o SimPro dispõe de uma base de dados com FE mais detalhados e atualizados, o que contribui para um cálculo mais preciso da PC. Em contrapartida, a metodologia GHG Protocol, apesar de amplamente utilizada, apresenta algumas limitações no que se refere à disponibilização de FE, especialmente quando se trata de gases menos comuns.

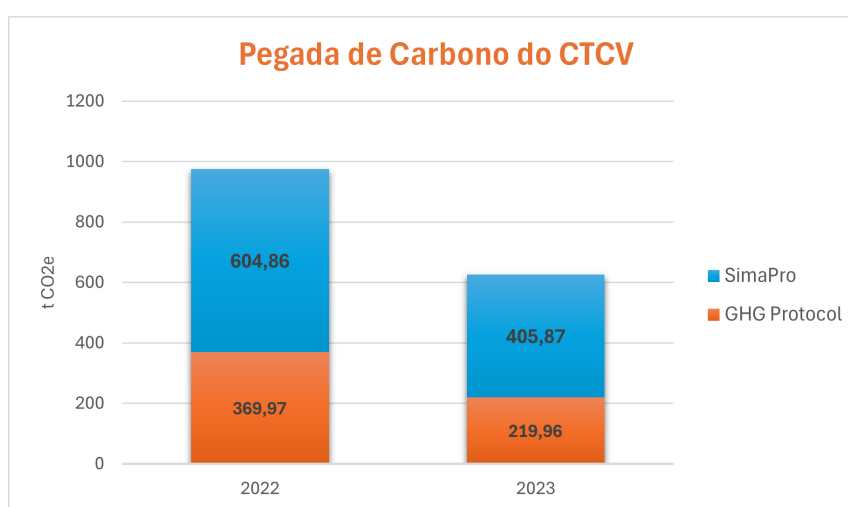


Figura 6.1: Gráfico da Pegada de Carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro nos anos de 2022 e 2023, comparando os resultados das duas metodologias.

Portanto, o contraste entre as duas metodologias sublinha a importância de considerar as especificidades e os dados subjacentes à escolha do método para a avaliação da PC, visto que os resultados podem variar significativamente dependendo da abordagem adotada e da qualidade das bases de dados utilizadas.

Para empresas dos setores da cerâmica e do vidro, que são reconhecidas por serem energeticamente poluidoras, é fundamental, além das entradas e saídas associadas à produção dos seus produtos, desde a matéria-prima até à instalação e demolição do produto, realizar uma avaliação completa do ciclo de vida. Para garantir uma maior transparência, seria recomendável elaborar uma Declaração Ambiental do Produto (DAP). Ao realizar essa análise utilizando ferramentas como o SimaPro, torna-se possível calcular a PC das empresas e obter uma avaliação mais detalhada e precisa dos seus impactos, contribuindo assim para a melhoria da gestão ambiental e a sustentabilidade dos setores.

De um modo geral, é importante ressaltar que o principal fator que afetou a PC do CTCV foi a ocorrência de fugas de gases fluorados provenientes de uma das câmaras climáticas, gases esses que possuem um elevado PAG. Ou seja, além das câmaras climáticas serem os maiores

consumidores de energia elétrica no CTCV, também podem contribuir negativamente para o ambiente e saúde humana, devido à liberação dos gases prejudiciais. Caso essas fugas não tivessem ocorrido em 2022 e 2023, a PC nos dois anos seria significativamente mais baixa. Por esse motivo, a gestão e a manutenção adequadas desses equipamentos são essenciais para reduzir os impactos negativos associados à sua operação.

Após a análise dos resultados, é possível identificar várias medidas de melhoria que podem ser implementadas para reduzir a PC. Embora a contribuição da metodologia baseada na abordagem de ACV seja relativamente pequena, destaca-se o consumo significativo de papel, que se mantém elevado anualmente. Nesse sentido, uma medida relevante a adotar seria a redução do consumo de papel. Desse modo, podem ser implementadas práticas sustentáveis, como a reutilização de papéis obsoletos para rascunhos, ou, sempre que possível, a impressão de documentos nas duas faces.

Em relação à frota de veículos, apesar dos esforços já realizados pelo CTCV na aquisição de veículos elétricos, sugere-se a ampliação desta frota, com a inclusão de mais veículos elétricos, e até a consideração de modelos com maior autonomia, com o objetivo de tornar toda a frota do CTCV composta por veículos elétricos. Embora já exista uma contribuição positiva para a redução da pegada de carbono, com os cinco veículos elétricos da frota, é importante observar que a comparação com os seis veículos a combustão revela uma diferença exponencial no impacto ambiental. Os veículos a gásóleo têm um impacto muito maior em termos de poluição, tornando a transição para uma frota totalmente elétrica ainda mais relevante e vantajosa para a redução da PC da organização.

Finalmente, apesar da existência de uma central fotovoltaica com uma capacidade de miniprodução para a venda de energia, seria igualmente vantajoso para o CTCV adotar uma maior proporção de energias renováveis para autoconsumo. Esta medida não só contribuiria para a redução da PC da organização, como também proporcionaria uma maior autonomia energética. A utilização de fontes renováveis para suprir as necessidades internas do CTCV reforçaria o compromisso da organização com a sustentabilidade e a eficiência energética, alinhando-se com as medidas da UE para alcançar a neutralidade carbônica.

7

Conclusão

A finalidade deste estudo consistiu no cálculo da pegada de carbono do Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro (CTCV), uma Sistema Científico e Tecnológico (SCT) que oferece apoio a empresas de diversos setores. O trabalho desenvolvido procurou destacar a importância de avaliar a Pegada de Carbono (PC) da organização como um todo, em vez de se limitar à análise do impacto ambiental do produto. Através dessa análise, pretende-se identificar práticas e medidas sustentáveis que possam ser implementadas, com vista à redução do impacto ambiental no ponto de vista da organização.

Neste trabalho, foram adotadas duas metodologias distintas para o cálculo da PC, o GHG Protocol e o método de abordagem de ciclo de vida (Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)). A principal diferença entre estas metodologias reside nos Fator de Emissão (FE) utilizados, o que resulta em resultados distintos. Além disso, a metodologia numa abordagem de ACV, quando calculado através do software SimaPro, oferece uma análise mais abrangente, permitindo não só a quantificação do Potencial de Aquecimento Global (PAG), mas também a avaliação de diversas categorias de impacto, possibilitando uma compreensão mais detalhada dos efeitos ambientais associados aos fluxos da organização.

Foram analisados os Dados de Atividade (DA) das entradas e saídas do CTCV para dois anos de referência, 2022 e 2023, tendo em conta tanto as emissões diretas como as indiretas. Foram considerados os três âmbitos definidos pela metodologia GHG Protocol, que abrangem as emissões resultantes das atividades da organização, tanto internamente como ao longo da sua cadeia de valor.

Na aplicação da metodologia GHG Protocol, foram utilizados FE a nível nacional e internacional. A nível nacional, recorreu-se aos fatores fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), enquanto que a nível internacional, foram adotados os fatores do Department for Environment, Food Rural Affairs (DEFRA), do International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) e do The Climate Change. Foi também realizada uma comparação no cálculo da PC da frota a gasóleo, utilizando um FE nacional da APA e um fator internacional do United States Environmental Protection Agency (EPA). A comparação revelou que a diferença entre os dois fatores de emissão, após o processo de conversão, foi relativamente pequena, o que resultou em resultados coerentes nas duas análises para os dois anos de reporte. Após a análise de todos os *inputs*, o resultado final obtido pela metodologia GHG Protocol foi de 369,97 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq) em 2022, e de 219,96 tCO₂eq em 2023, evidenciando

uma evolução positiva no período de um ano.

Os DA recolhidos, na aplicação da metodologia baseada na abordagem de ACV, foram modelados através do software SimaPro para o cálculo da PC. Para garantir uma análise mais abrangente, foram também estimados alguns *inputs* que não foram calculados pela metodologia GHG Protocol. Apesar dessa constatação, após a análise, verificou-se que os *inputs* estimados não tiveram um impacto significativo no resultado final. Sem os DA adicionais, o resultado final da PC foi de 601,61 tCO₂eq em 2022 e de 400,80 tCO₂eq em 2023, o que representa uma diferença de cerca de 3 toneladas no cálculo de 2022 e de 5 toneladas no cálculo de 2023, em comparação com os resultados finais apresentados. Para além do resultado do PAG, a análise das restantes categorias de impacto revelou aspetos significativos, nomeadamente na implicação das emissões das atividades da empresa na toxicidade humana, este efeito estará relacionado com o consumo de gases e produtos químicos utilizados nas operações do CTCV. Adicionalmente, as fugas de gases fluorados também podem ter contribuído para o aumento da toxicidade, sendo este um fator relevante a considerar na avaliação dos impactes ambientais das atividades da organização.

Concluiu-se, com base nas duas metodologias utilizadas, que, de forma geral, a eletricidade foi o principal responsável pela PC do CTCV nos anos de 2022 e 2023, seguida pelo consumo de gasóleo associado à frota de veículos. Contudo, os gases fluorados também desempenharam um papel expressivo na PC, com um efeito particularmente significativo em 2022. O resultado destacou a importância de otimizar o consumo energético e reduzir as emissões associadas à frota e aos gases fluorados, de forma a mitigar os impactos ambientais da organização.

Após uma análise comparativa entre as duas metodologias, conclui-se que, embora o resultado conseguido tenha sido superior, a utilização de um software com uma base de dados estruturada, que inclua FE bem definidos para todo o tipo de atividades e que seja constantemente atualizada, revela-se substancialmente mais viável. Este tipo de software proporciona, além de uma maior precisão nos cálculos, a possibilidade de contabilizar outras categorias de impacto incluídas na base de dados, o que permite uma compreensão mais completa dos processos laborais, tanto a nível do produto como da organização. Dessa forma, é possível também realizar uma caracterização mais detalhada das medidas a serem implementadas. É importante destacar que a metodologia do GHG Protocol continua a ser uma abordagem benéfica para o cálculo da PC permitindo-nos ter uma percepção clara do impacto das nossas atividades no aquecimento global.

Destaco a relevância de realizar mais estudos sobre análise comparativa de diferentes metodologias de cálculo da PC. Isto porque, devido às variações nos FE e à diversidade de métodos disponíveis, os resultados alcançados podem igualmente variar. Assim, é possível ajustar a metodologia mais adequada às especificidades de cada caso de estudo, garantindo maior precisão e relevância nos resultados.

Para trabalhos futuros, considero fundamental realizar um estudo mais aprofundado sobre os DA que podem ser recolhidos na organização. A título de exemplo, o inventário e a contabilização dos percursos realizados pelos colaboradores, desde as suas casas até ao local de trabalho e

vice-versa. Este é um dado particularmente relevante para o cálculo da PC, mas que não foi considerado neste caso de estudo. A inclusão deste tipo de informação permitiria uma avaliação ainda mais completa e precisa.

Por fim, tendo-se concluído as emissões de Gases com Efeito de Estufa, o CTCV compromete-se a continuar a monitorizar a Pegada de Carbono e a implementar novas medidas com o objetivo de reduzir a suas emissões. Para uma análise mais detalhada e eficaz, sugere-se uma organização mais eficiente dos dados relativos às atividades, podendo-se considerar a aquisição de uma plataforma ou ficheiro excel que centralize todos os dados necessários ao cálculo da PC. Dessa forma, sempre que for necessário aceder a informações sobre as operações do CTCV, será possível obter esses dados de forma rápida e eficiente, através de um único método organizado.

No âmbito da redução da Pegada de Carbono, será fundamental que o CTCV implemente as medidas sugeridas no capítulo 6, como a transição de veículos a gasóleo para automóveis elétricos, a adoção de energia renovável para autoconsumo e a promoção de ações de sensibilização para a diminuição do consumo de papel. Adicionalmente, deverá haver um esforço contínuo para consciencializar os colaboradores sobre a importância da redução do consumo de energia elétrica. Uma vez proposta a transição para uma frota elétrica sensibilizar também para práticas de condução mais eficientes e preventivas. E realizar uma análise aprofundada de alternativas mais sustentáveis para os gases de refrigeração utilizados nas câmaras climáticas, de forma a minimizar o impacto ambiental na ocorrência de fugas.

Bibliografia

- [1] Edgar - emissions database for global atmospheric research. ghg emissions of all world countries. european commission. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023.
- [2] An eu critical raw materials act for the future of eu supply chains. european commission. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/>.
- [3] WRI and WBCSD. *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*. WRI and WBCSD, 2011.
- [4] J. Martínez-Blanco, M. Finkbeiner, and A. Inaba. Scoping organizational lca—challenges and solutions. *Springer*, 2015.
- [5] Direção geral de energia e geologia (dgeg) - dados mensais de energia elétrica. <http://www.dgeg.gov.pt>.
- [6] Entidade reguladora dos serviços energéticos (erse) – produção em regime especial (pre). <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/producao/producao>.
- [7] Redes energéticas nacionais (ren) – centro de informação - estatísticas mensais. <http://www.centrodeinformacao.ren.pt>.
- [8] A. Ociepa-Kubicka, I. Deska, and E. Ociepa. Organizations towards the evaluation of environmental management tools iso 14001 and emas. *Energies*, 2021.
- [9] A. B. Sousa. *PRÁTICAS DE GESTÃO DA QUALIDADE E GESTÃO VERDE DA CADEIA DE ABASTECIMENTO NAS EMPRESAS DE MANUFATURA PORTUGUE-SAS*. Lisbon School of Economics Management, 2020.
- [10] S. Joseph and k. Sheriffdeen. *Examining Intelligent Simulation Methods for Reducing Carbon Footprints: A Thoughtful Analysis*. ResearchGate, 2023.
- [11] A. McWilliams, D. S. Siegel, and P. M. Wright. *Guest Editors' Introduction Corporate Social Responsibility: Strategic Implications**. Blackwell Publishing, 2006.
- [12] D. Prajogo, A. K.Y. Tang, and K. Lai. The diffusion of environmental management system and its effect on environmental management practices. *International Journal of Operations Production Management*, 2014.
- [13] APCER. *GUIA DO UTILIZADOR ISO 14001:2015*. 2016.

- [14] Cvr - centro para a valorização de resíduos. <https://www.cvresiduos.pt/pt/comunicacao/2021/04/16/a-importancia-da-avaliacao-de-ciclo-de-vida-acv>.
- [15] J. Wahrlich, R.A.F. Alvarenga, J.A. Henkes, I.A. Rossato, and F.J. Simioni. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida: Uma revisão. *Revista Gestão Sustentabilidade Ambiental*, 2020.
- [16] Dap | declaração ambiental de produto | fator chave de sustentabilidade. <https://www.youtube.com/watch?app=desktopv=M3XXPJGa1IY>.
- [17] M. Almeida, L. Arroja, and A.C. Dias. *Avaliação de ciclo de vida de ladrilho cerâmico e seu potencial de melhoria*. CINCOS'14, 2014.
- [18] V. Ibñez-Forés, M.D. Bovea, and A. Simó. Life cycle assessment of ceramic tiles. environmental and statistical analysis. *Springer*, 2011.
- [19] D. Pandey, M. Agrawal, and J.S. Pandey. Carbon footprint: current methods of estimation. *Springer*, 2010.
- [20] Mudanças climáticas: as causas, os efeitos, as soluções. <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/transicao-energetica/mudancas-climaticas-causas-consequencias>.
- [21] ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 (RNC2050). *ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA DA ECONOMIA PORTUGUESA EM 2050*. 2019.
- [22] M. Almeida. *DESEMPENHO AMBIENTAL DE PRODUTOS NO SECTOR CERÂMICO EM PORTUGAL*. Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento, 2019.
- [23] APICER Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica. *Promoção do empreendedorismo e da criação de empresas com maior valor acrescentado*. 2012.
- [24] M. Almeida and M. Lopes. Requisitos de sustentabilidade do pavimento e revestimento cerâmico. *Revista TÉCNICA* 21, 2024.
- [25] INTERNATIONAL STANDARD. *Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, ISO 14064-1:2018(E)*. ISO 2018, 2018.
- [26] J. Houghton. *GLOBAL WARMING - The Complet Briefing, Fourth Edition*. Cambridge University Press, 2009.
- [27] World Economic Forum. Riscos globais de 2024: desinformação está no topo dos riscos globais em 2024 e ameaças ambientais se intensificam. *News Release*, 2024.
- [28] World Economic Forum. *The Global Risks Report 2024*. 19th Edition, 2024.

- [29] Objetivo 55: Reforma do sistema de comércio de licenças de emissão da eu, união europeia, 2022. <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/>.
- [30] Melhores técnicas disponíveis (mtd). agência portuguesa do ambiente, 2021. <https://apambiente.pt/avaliacao-e-gestao-ambiental/melhores-tecnicas-disponiveis-mtd>.
- [31] S. Santos Dias. *Descarbonização dos setores da cerâmica e do vidro “dependente de tecnologias inovadoras emergentes”*. Jornal de Negócios, 2024.
- [32] A abordagem de portugal à crise climática. comissão europeia, 2024. representação em portuga. https://portugal.representation.ec.europa.eu/estrategia-e-prioridades/principais-politicas-da-ue-para-portugal/o-pacto-ecologico-e-transicao-energetica-em-portugal_pt.
- [33] I. Rattle, A. Gailani, and P. G. Taylor. Decarbonisation strategies in industry: going beyond clusters. *Springer Nature*, 2023.
- [34] Co funded by the Erasmus+ Programme of the European Union and CTCV. 1.3.3. *ESTUDO DA AVALIAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL*. OERCO2, 2017.
- [35] S. Aytac. What are carbon footprint and carbon footprint calculators? *Issues in Science and Technology Librarianship*, 2023.
- [36] Como reduzir a pegada de carbono? portal europeu da juventude. união europeia. https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/how-reduce-my-carbon-footprint_pt.
- [37] M. Almeida, A. Amado, P. Frade, M. Lopes, and S. Rodrigues. Bref cer: Documento das melhores técnicas disponíveis na indústria cerâmica. *Revista TÉCNICA* 21, 2024.
- [38] Ipma. o que é o “efeito de estufa”? https://www.ipma.pt/pt/educativa/faq/climatologia/faqdetail.html?f=/pt/educativa/faq/climatologia/faq_0006.html.
- [39] Alterações climáticas: que gases com efeito de estufa impulsionam o aquecimento global. <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20230316STO77629/alteracoes-climaticas-os-gases-com-efeito-de-estufa-mais-nocivos-para-o-planeta>.
- [40] Timeline of climate action. feu-us. https://feu-us.org/our-work/truth_cc/timeline/.
- [41] I. Rodão. *Desafios e Oportunidades para Descarbonização dos Setores da Cerâmica e do Vidro*. Apresentação. Indústria de Futuro., 2024.
- [42] Y. Long, Y. Yoshida, R. Zhang, L. Sun, and Y. Dou. Policy implications from revealing consumption-based carbon footprint of major economic sectors in japan. *Elsevier Lt*, 2018.
- [43] M. Finkbeiner and V. Bach. Life cycle assessment of decarbonization options - towards scientifically robust carbon neutrality. *Springer*, 2021.
- [44] M. Almeida, A. Amado, S. Rocha, M. Lopes, and S. Rodrigues. Matérias-primas críticas: contexto da indústria cerâmica em portugal. *Revista TÉCNICA* 21, 2024.

- [45] P. Kinnunen and S. Hedrich. Biotechnological strategies to recover value from waste. *Elsevier B.V.*, 2023.
- [46] P. W. Anggoro, T. Yuniarto, B. Bawono, D. B. Setyohadi, P. S. Murdapa, and J. Jamari. System dynamics modelling for calculation of carbon footprint on a non-homogeneous production system: A case in a ceramic studio. *Elsevier B.V.*, 2022.
- [47] WRI and WBCSD. *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. REVISED EDITION*. WRI and WBCSD, 2001.
- [48] R. Garcia and F. Freire. Carbon footprint of particleboard: a comparison between iso/ts 14067, ghg protocol, pas 2050 and climate declaration. *Elsevier B.V.*, 2013.
- [49] WRI and WBCSD. *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. WRI and WBCSD, 2011.
- [50] A. Wynne and R. Kenny. Limitations of linear ghg protocol carbon reporting in achieving circular progress. *EDP Sciences*, 2023.
- [51] J. Martínez-Blanco and M. Finkbeiner. Organisational lca. chapter 20. *Springer*, 2018.
- [52] INTERNATIONAL STANDARD. *ISO/TS 14072:2014. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment*. ISO, 2014.
- [53] B. Notarnicola, G. Tassielli, P. A. Renzulli, and P. Chirulli. Organizational life cycle assessment of a corporate group. *Elsevier B.V.*, 2023.
- [54] I. T. Herrmann and A. Moltesen. Does it matter which life cycle assessment (lca) tool you choose? e a comparative assessment of simapro and gabi. *Elsevier B.V.*, 2014.
- [55] Why simapro. simapro. <https://simapro.com/about/>.
- [56] Database Support team at PRé Sustainability. *SimaPro database manual. Methods library*. PRé Sustainability B.V., 2023.
- [57] Simapro. environmental footprint database. <https://simapro.com/products/environmental-footprint-database/>.
- [58] ecoinvent lci database. simapro. <https://simapro.com/products/ecoinvent/>.
- [59] T. Pereira, A. Amaro, M. Borges, R. Silva, T. Seabra, and P. Canaveira. *NATIONAL INVENTORY REPORT. SUBMITTED UNDER THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE AND THE KYOTO PROTOCOL*. Portuguese Environment Agency, 2022.
- [60] T. Pereira, A. Amaro, M. Borges, R. Silva, T. Seabra, and P. Canaveira. *NATIONAL INVENTORY REPORT. SUBMITTED UNDER THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*. Portuguese Environment Agency, 2023.
- [61] Monitorização de emissões. tabela dos valores de pci, fe e fo. comércio europeu de licenças de emissão (cele). <https://apambiente.pt/clima/monitorizacao-de-emissoes>.

-
- [62] Gases fluorados. conversor de unidades. <https://gfconversor.apambiente.pt/>.
- [63] The climate registry. https://theclimateregistry.org/wp-content/uploads/2024/03/2024-Emission-Factor-Document_FINAL.pdf.
- [64] International Sustainability and Carbon Certification (ISCC). *ISCC EU 205 Greenhouse Gas Emissions. Version 4.0*. ISCC System GmbH, 2021.
- [65] APA. *Fator de emissão da Eletricidade*. Agência Portuguesa do Ambiente, 2024.
- [66] Defra. greenhouse gas reporting: conversion factors 2022. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022>.
- [67] Defra. greenhouse gas reporting: conversion factors 2023. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>.
- [68] WRI and WBCSD. *Greenhouse Gas Inventory Guidance. Direct Emissions from Mobile Combustion Sources*. U.S. EPA Center for Corporate Climate Leadership's, 2016.
- [69] Direção geral de energia e geologia. densidades. 2000-2021. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/petroleo-e-derivados/densidades/>.
- [70] Direção geral de energia e geologia. conversões energéticas. 2000-2023. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/conversoes-energeticas/>.
- [71] Gases fluorados. 11. equipamentos abrangidos. <https://apambiente.pt/clima/gases-fluorados>.
- [72] International sustainability and carbon certification (iscc). who we are. <https://www.iscc-system.org/about/who-we-are/>.

