



Bernardo André Duque Marques Garcia Jerónimo  
Licenciado em Engenharia do Ambiente

# Pegada de carbono da cadeia de valor da construção de edifícios, na União Europeia - a importância do carbono incorporado

Mestrado em Engenharia do Ambiente – Perfil de Engenharia de Siste-  
mas Ambientais  
Universidade NOVA de Lisboa  
Setembro, 2023





# Pegada de carbono da cadeia de valor da construção de edifícios, na União Europeia - a importância do carbono incorporado

**Bernardo André Duque Marques Garcia Jerónimo**

Licenciado em Engenharia do Ambiente

**Orientadora:** Doutora Sofia Simões,  
Investigadora Principal no LNEG e Professora Auxiliar Convidada na FCT-NOVA

## **Júri:**

**Presidente:** Professora Doutora Júlia Seixas,  
Professora Catedrática, FCT-NOVA

**Arguentes:** Doutor João Pedro Gouveia,  
Investigador Principal, FCT-NOVA

**Orientador:** Professora Doutora Sofia Simões,  
Investigadora Principal no LNEG e Professora Auxiliar Convidada na FCT-NOVA



**Pegada de carbono da cadeia de valor da construção de edifícios, na União Europeia - a importância do carbono incorporado**

Copyright © Bernardo André Duque Marques Garcia Jerónimo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



Para os meus pais.



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Professora Doutora Sofia Simões, cuja orientação, experiência e apoio foi fundamental para a conclusão desta tese. Estou também grato à Engenheira Ana Luísa Cabrita e Dra. Juliana Barbosa pelo seu valioso contributo e feedback construtivo.

Este trabalho foi desenvolvido em articulação com o projeto Horizonte Europa CONSTRUCT - Modelling the role of circular economy construction value chains for a carbon-neutral Europe pelo que agradeço à sua equipa internacional em geral e em particular ao Dr. Husam Al-Baghdadi e Dra. Juliana Barbosa.

Pretendo agradecer à Impact Labs, cujos ensinamentos impactaram, não só a minha carreira profissional, como também o meu desenvolvimento pessoal. Esta tese não seria possível sem o contributo da Marine, Vincent, Grégoire, Elisa e Laima.

Um forte agradecimento à FCT NOVA, tanto colegas como professores. Foi um período de muita aprendizagem e crescimento, ao qual estou eternamente grato.

Esta tese é o culminar de anos de trabalho, que foram bem conseguidos devido à presença de várias pessoas especiais. Irei agradecer a cada uma destas pessoas, pois não seria correto não o fazer:

Aos "Originais": Alex, Bárbara, Guimarães, Laura e Zé. Obrigado por me inspirarem a ser melhor todos os dias, a acreditar em mim e a sair da minha bolha de conforto.

À Inês Valente, Patrick Gugg, João Bodião, Gonçalo Fontoura, André César e Bernardo Patarra, cujo único lamento é não nos termos aproximado mais cedo.

Ao pessoal de Química: Figas, Gonçalo, Ana Simões, Catarina Martins, Patrícia Fernández, Valente, Cláudia, Clara, Ana Bia, Diana Santos, Diana Simões, Carolina, Loredana e Patrícia Deus. Ter-vos na minha vida permitiu-me vencer os tempos mais difíceis.

À malta do Barreiro: Mariana, Inês Hipólito, Inês Rodrigues, Tiago, André e Sara. Obrigado pelas boas vivências.

Ao Gonçalo, Rita, Ana Amado e Diogo, pela amizade sincera e apoio incondicional.

Ao João Matoso, pela presença constante e amizade duradora.

À minha família, em especial os meus pais e irmão, por confiarem em mim e apoiarem-me em todo este processo.

À Inês Gil, pela força, otimismo, perseverança e amor. Sem ti, não seria possível.

"You cannot teach a man anything; you can only help him  
discover it in himself." (Galileo).



## RESUMO

O setor da construção de edifícios que, para esta dissertação, consiste na construção/re-novação de edifícios, está a receber progressivamente mais atenção por parte de políticas de mitigação de emissões de gases de efeito de estufa. O setor tem uma contribuição significativa nas emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de energia na operação dos edifícios, mas, também, ao longo de toda a sua cadeia de valor, incluindo a extração de matérias-primas, produção de materiais de construção, construção e demolição de edifícios, gestão de resíduos e as diversas etapas de transporte. O objetivo desta dissertação foi, assim, desenvolver uma abordagem metodológica para quantificar a pegada de carbono média anual do setor da construção de edifícios por país da UE, focando o CO<sub>2</sub> incorporado ao longo da cadeia de valor. Nesta análise não foi considerada a operação e utilização de edifícios. Estimou-se, também, a quantidade de materiais de construção produzida, em média, anualmente e o seu peso na pegada de carbono total, com foco nos materiais mais comuns e intensivos em carbono. Os resultados mostraram que a pegada total de carbono incorporado do setor da construção de edifícios, para a UE, consiste em 78 141,6 kt de CO<sub>2</sub>. Este valor representa 2% da pegada total na UE. A Alemanha, França e Espanha são os países que mais contribuem para a pegada de carbono do setor e que a fase de produção corresponde a 83% da pegada total global, devido, essencialmente, à produção de cimento e aço. Os principais resultados da dissertação foram, ainda, alvo de uma análise de sensibilidade. Adicionalmente, identificaram-se alguns materiais e soluções de baixo carbono para reduzir a pegada de carbono da cadeia de valor no setor da construção de edifícios na UE.

**Palavas chave:** Construção de edifícios, Cadeia de valor, União Europeia, Pegada de carbono, Carbono incorporado.



## ABSTRACT

The real estate sector, which for this dissertation encompasses construction/renovation of buildings, is gaining progressively more attention from greenhouse gas emissions mitigation policies. The sector has a significant contribution to CO<sub>2</sub> emissions resulting from energy consumption in the buildings use/operation, but also throughout embodied carbon via its value chain, including the extraction of raw materials, the manufacture of building materials, the construction and demolition of buildings, waste management and the various stages of transportation. The aim of this dissertation was, therefore, to develop a methodological approach to quantifying the average annual carbon footprint of the real estate sector by EU country, focusing on the embodied CO<sub>2</sub> throughout the value chain. This analysis did not consider the operation/ use of buildings. It also estimated the annual EU amount of construction materials produced and used in buildings each year and their weight in the total carbon footprint. The focus was on the most common and carbon-intensive materials (cement, steel, glass and bricks). The results showed that the total EU annual embodied carbon footprint of buildings construction value chain is of 78,141.6 kt of CO<sub>2</sub>. This represents 2% of the total emissions in the EU in the same time scale. Germany, France and Spain are the countries that contribute most to the sector's carbon footprint. The material manufacturing phase accounts for 83% of the total global footprint, essentially due to the production of cement and steel. The main results of the dissertation were also subjected to a sensitivity analysis. Moreover, some low-carbon materials and solutions to reduce the carbon footprint of the value chain in the real estate sector, in the EU were identified.

**Keywords:** Real estate construction, Value chain, European Union, Carbon footprint, Embodied carbon.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e motivação .....	1
1.2	Objetivos e âmbito da dissertação.....	4
1.3	Estrutura da dissertação .....	5
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
2.1	A importância económica do setor da construção de edifícios na União Europeia.....	7
2.2	Área construída na Europa .....	10
2.3	Cadeia de valor da construção de edifícios .....	11
2.4	Pegada de carbono no setor da construção de edifícios .....	15
2.5	Políticas ao nível da pegada de carbono dos edifícios.....	25
2.6	Soluções para reduzir a pegada de carbono do setor.....	27
2.6.1	Reutilização e reciclagem de materiais primários e secundários .....	27
2.6.2	Renovação de edifícios .....	28
2.6.3	Materiais de construção alternativos.....	28
2.6.4	Ecodesign.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1	Abordagem metodológica global .....	31
3.2	Extração de matérias-primas .....	35
3.2.1	Consumo de energia e fatores de emissão.....	36
3.2.2	Tratamento dos dados.....	41

3.3	Produção de materiais de construção.....	44
3.4	Transporte de materiais de construção .....	49
3.5	Construção.....	51
3.6	Demolição .....	55
3.7	Transporte de resíduos .....	58
3.8	Análise de sensibilidade .....	60
3.9	Limitações .....	61
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1	Extração de matérias-primas .....	65
4.1.1	Mineração de matérias-primas para o cimento, vidro e tijolos .....	69
4.1.2	Mineração de metais para o aço.....	71
4.1.3	Atividades de apoio à mineração .....	73
4.2	Produção de materiais de construção.....	75
4.3	Transporte de materiais de construção .....	85
4.4	Construção.....	86
4.5	Demolição .....	90
4.6	Transporte de resíduos .....	93
4.7	Análise da pegada ao longo da cadeia de valor .....	95
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>101</b>
5.1	Comparação com a revisão de literatura .....	101
5.2	Extração de matérias-primas .....	102
5.3	Produção de materiais .....	104
5.4	Transporte.....	105
5.5	Construção e demolição.....	106
5.6	Transporte de resíduos .....	107
5.7	Análise de sensibilidade .....	107
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>111</b>

7	BIBLIOGRAFIA.....	115
---	-------------------	-----



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia de valor do setor da construção de edifícios (International Resource Panel, 2020).....	12
Figura 2 - Cadeia de valor do setor da construção de edifícios (Nunes, Palmeri, & Love, 2019) .....	13
Figura 3 - Carbono incorporado por m <sup>2</sup> para diferentes fases do ciclo de vida, com base no conjunto de dados UE-BCE (Röck & Sørensen, 2022).....	23
Figura 4 - Introdução gradual e aumento dos requisitos em matéria de CO <sub>2</sub> (Ministry of the interior and housing, 2021) .....	26
Figura 5 - Abordagem metodológica.....	32
Figura 6 - Consumo médio anual de energia por país para extração de matérias-primas, para o setor da construção de edifícios.....	66
Figura 7 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios.....	67
Figura 8 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas por VAB no setor da construção.....	68
Figura 9 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas por área ocupada por edifícios, per capita.....	68
Figura 10 - Consumo médio anual de energia, por país, na extração de matérias-primas relevantes para produção de cimento, vidro e tijolos.....	70
Figura 11 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à extração de areia e matérias-primas para cimento e cerâmica, para o setor de Real Estate.....	71
Figura 12 - Consumo médio anual de energia, por país, na extração de metais para o aço, para o setor de Real Estate .....	72

Figura 13 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à extração de metais para o aço, para o setor de Real Estate.....	73
Figura 14 - Consumo médio anual de energia, por país, em atividades de apoio à mineração, para o setor de Real Estate .....	74
Figura 15 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas às atividades de apoio à mineração, para o setor da construção de edifícios .....	74
Figura 16 - Produção média anual de cimento, por país, para o setor da construção de edifícios .....	76
Figura 17 - Produção média anual de vidro, por país, para o setor da construção de edifícios .....	76
Figura 18 - Produção média anual de aço, por país, para o setor da construção de edifícios.....	77
Figura 19 - Produção média anual de tijolos, telhas e ladrilhos, por país, para o setor da construção de edifícios.....	77
Figura 20 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de cimento, por país, para o setor da construção de edifícios.....	80
Figura 21 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de aço, por país, para o setor da construção de edifícios.....	81
Figura 22 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de vidro, por país, para o setor da construção de edifícios.....	81
Figura 23 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de tijolos, telhas e ladrilhos, por país, para o setor da construção de edifícios .....	82
Figura 24 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção por VAB no setor da construção.....	84
Figura 25 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de produção de materiais de construção para o setor da construção de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita.....	85
Figura 26 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas ao transporte de materiais de construção, por país, para o setor da construção de edifícios.....	86
Figura 27 - Consumo médio anual de energia na fase de construção de edifícios, por país ...	87
Figura 28 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de construção de edifícios .....	88
Figura 29 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de construção de edifícios, por valor acrescentado bruto do setor da construção.....	89

Figura 30 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de construção de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita.....	90
Figura 31 - Consumo médio anual de energia na fase de demolição de edifícios, por país.....	91
Figura 32 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de demolição de edifícios.....	92
Figura 33 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de demolição de edifícios, por valor acrescentado bruto do setor da construção.....	92
Figura 34 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de demolição de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita.....	93
Figura 35 - Quantidade média anual de resíduos de edifícios transportados para tratamento, por país.....	94
Figura 36 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> , por país, associadas à fase de transporte de resíduos de edifícios.....	95
Figura 37 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios por fase da cadeia de valor, por país da UE.....	97
Figura 38 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios por fase da cadeia de valor, por país da UE, em percentagem.....	98
Figura 39 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios na UE, por fase da cadeia de valor.....	99
Figura 40 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios na UE, por fase da cadeia de valor, em percentagem.....	99



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos que analisam as emissões de GEE incorporadas na cadeia de valor da construção de edifícios.....	20
Tabela 2 – VAB médio anual do setor da construção em mil milhões de euros.....	33
Tabela 3 – Área ocupada por edifícios, per capita (m <sup>2</sup> /capita) .....	34
Tabela 4 - Matérias-primas extraídas para a cadeia de valor da construção de edifícios.....	36
Tabela 5 - Fatores de emissão (kgCO <sub>2</sub> /TJ) considerados por cada vetor energético.....	38
Tabela 6 - Intensidade de carbono do sector de energia na Europa (kgCO <sub>2</sub> /TJ).....	40
Tabela 7 - Percentagem de energia utilizada, por país, na extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios.....	42
Tabela 8 - Produção anual de materiais de construção .....	44
Tabela 9 - Intensidade carbónica da produção dos materiais de construção .....	45
Tabela 10 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> originadas pela produção dos materiais de construção.....	46
Tabela 11 - Percentagem de materiais de construção destinados à construção de edifícios, na Europa.....	48
Tabela 12 - Distância média de viagem no transporte de mercadorias na UE (km).....	50
Tabela 13 - Tipologia de veículos e os respetivos fatores de emissão (ICCT, 2021).....	51
Tabela 14 - Fatores de emissão (kgCO <sub>2</sub> /TJ) considerados por cada vetor energético .....	52
Tabela 15 - Coeficiente de construção de edifícios, por país.....	53
Tabela 16 - Coeficiente de construção por país, utilizado para calcular a energia consumida na construção de edifícios nos países da UE .....	53
Tabela 17 - VAB médio anual para a construção de edifícios.....	54
Tabela 18 - Coeficientes de construção e demolição de edifícios, por país.....	56
Tabela 19 - VAB médio anual para a demolição de edifícios.....	57

Tabela 20 - Quantidade de resíduos de construção e demolição enviados para tratamento..	58
Tabela 21 - Quantidade de resíduos de construção, provenientes de edifícios, enviados para tratamento (kt).....	59
Tabela 22 - Quantidade média anual de materiais produzidos, na UE, para o setor da construção de edifícios.....	78
Tabela 23 - Emissões médias anuais de CO <sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção, por país, para o setor da construção de edifícios .....	82
Tabela 24 - Análise de sensibilidade às principais conclusões da dissertação .....	109

## SIGLAS

<b>AVAC</b>	Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado
<b>BPIE</b>	Buildings Performance Institute Europe
<b>DEFRA</b>	Department for Environmental Food and Rural Affairs
<b>ECSO</b>	European Construction Sector Observatory
<b>EPRA</b>	European Public Real Estate Association
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>FE</b>	Fator de emissão
<b>GEE</b>	Gases com efeito de estufa
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>PRODCOM</b>	Production Communautaire
<b>TJ</b>	Terajoule
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme
<b>VAB</b>	Valor acrescentado bruto



# INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e motivação

Atualmente, existe um consenso na comunidade científica sobre a gravidade do aquecimento global, que, devido às emissões de gases com efeito de estufa (GEE), está a aumentar de forma progressiva (IPCC, 2022). Vários ecossistemas estão a sofrer alterações relevantes, organismos vivos estão a extinguir-se, e projeta-se que, no futuro, estes impactos se agravem substancialmente se o aquecimento global não for controlado (Mohajan, 2011). É evidente para os peritos em ambiente de todas as nações que as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e de outros GEE, são responsáveis pelo aquecimento global (Mohajan, 2011). O período de 2015 a 2022 será, provavelmente, o mais quente de que há registo, sendo que a temperatura média global registada em 2022 foi 1,15°C superior à média de 1850-1900 (World Meteorological Organization, 2022). Estes valores apenas são superados pelo verão de 2023, onde os meses de junho, julho e agosto foram mais quentes do que qualquer outro verão (NASA, 2023). Será um desafio assegurar que até 2050 as concentrações atmosféricas de GEE se mantenham estáveis e não representem um perigo para a estabilidade climática do planeta (IPCC, 2022). Para tal, é necessária uma redução imediata das emissões globais de CO<sub>2</sub> para estabilizar, até 2100, as concentrações globais de CO<sub>2</sub> a um nível sustentável (Agency, European Environment, 1999) (IPCC, 2022).

De acordo com o Departamento dos Assuntos Económicos e Sociais das Nações Unidas, até 2050, é previsto que o número de pessoas no nosso planeta aumentará, passando de 7,6 mil milhões para quase 10 mil milhões. Ainda de acordo com a mesma fonte, este número de pessoas não deverá repartir-se equilibradamente pelas zonas urbanas, suburbanas e rurais (United Nations - Department of Economic and Social Affairs, 2015). As zonas urbanas, que

acolhem atualmente cerca de 55% da população mundial, irão conter 70% da população em 2050. Grande parte deste aumento ocorrerá na Ásia e em África, denotando-se, também, um crescimento na Europa, ainda que menos acentuado (The World Bank, 2020). O rápido desenvolvimento urbano terá um impacto a nível local, regional e global, a nível de hospitais, escolas, sistemas energéticos e emprego (Wesley & Peterson, 2017). Isto irá implicar a necessidade de mais habitação, edifícios comerciais, melhores transportes públicos, estradas e pontes (Wesley & Peterson, 2017). Tanto os países com rendimentos superiores como os de rendimento mais baixo compreendem a necessidade crescente em planear mais edifícios (Wesley & Peterson, 2017). Em particular para a habitação, a mudança para as áreas urbanas nas próximas décadas terá impacto na forma como as pessoas vivem, bem como no número de alojamentos necessários (The World Bank, 2020). O crescimento da população, combinado com um aumento de agregados familiares, significa que serão necessárias mais de dois mil milhões de novas habitações até ao final do século (The World Bank, 2020). Além disso, à medida que os centros urbanos se desenvolvem, necessitarão de mais edifícios para empresas e serviços, de forma a conseguirem acompanhar o aumento da procura (Wesley & Peterson, 2017).

Neste contexto importa referir que o sector da construção envolve um grande consumo de matérias-primas e energia, não só na construção de novos edifícios, mas também nas restantes etapas da sua cadeia de valor. Tendo em conta o peso das indústrias de construção na maioria das economias, existe um consenso de que para assegurar um desenvolvimento sustentável da economia é necessário agir sobre este sector (Cruz *et al.*, 2019).

Acresce que, também segundo Cruz *et al.* (2019), o setor da construção enfrenta, atualmente, diversos desafios. De uma perspetiva económica, a recessão que começou no início do século, e que alguns anos mais tarde afetou significativamente grande parte dos países europeus, fomentou um decréscimo no sector. Alguns países apresentaram uma redução de 30 a 40% no sector da construção (sendo Portugal um destes). Esta recessão económica (mais a mudança do enfoque, de grandes projetos de construção para projetos de renovação e reabilitação) levou à falência de diversas empresas e ao aumento do desemprego (Cruz *et al.*, 2019). Em paralelo, de uma perspetiva ambiental, existe uma crescente preocupação quanto ao impacto do sector da construção no ambiente. Atualmente, os impactos ambientais são um ponto fulcral a ser considerado em qualquer país europeu e muitos são os programas de investigação com vista à sua diminuição, aumento eficiência energética, diminuição dos resíduos, diminuição das emissões, entre outros (Cruz *et al.*, 2019). Acresce que o setor da construção é um dos setores mais influentes e responsável por grande parte destes impactos (Cruz *et al.*, 2019).

O ambiente construído na União Europeia (UE) é responsável por mais de um terço das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia, sendo por isso fundamental para se conseguir uma transição para uma economia e sociedade de baixo carbono (EPRA, 2022). A nível global, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos edifícios rondam os 39% (WGBC, 2019). Deste valor, o consumo de energia na operação e funcionamento dos mesmos (iluminação, aquecimento e arrefecimento) é responsável por 28% das emissões de CO<sub>2</sub> do sector (WGBC, 2019). O aquecimento e a refrigeração são pontos de consumo de energia particularmente importantes nos edifícios não residenciais (Climate Bonds Initiative, 2018). Nos edifícios residenciais, o aquecimento da água e os serviços de cozinha são também factores determinantes no consumo de energia (Climate Bonds Initiative, 2018). Além disso, as emissões de carbono incorporadas, provenientes da extração de matérias-primas, produção de materiais, construção, demolição e processos de eliminação de resíduos, representam aproximadamente 11% do consumo total de energia no mundo (WGBC, 2019).

É assim evidente que o ambiente construído desempenha um papel vital na concretização do Acordo de Paris para a Europa (European Parliament, 2023). Alcançar a neutralidade climática até 2050 irá exigir uma transformação fundamental do sector da construção de edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou públicos (European Parliament, 2019). Felizmente, o ambiente construído tem também um potencial significativo na mitigação das emissões de carbono (Buildings Performance Institute Europe, 2022).

A construção sustentável integra diversas linhas de atuação: a redução do consumo de energia, mantendo um elevado nível de conforto térmico (tanto no Inverno como no Verão), não contribuir para problemas ambientais globais como o aquecimento global ou a destruição da camada de ozono, manter uma boa qualidade do ar interior, gestão dos recursos materiais e resíduos originados, entre outros (Blanc & Peuportier, 2007). Estes parâmetros estão muito relacionados com a escolha dos materiais de construção e o design dos edifícios (Blanc & Peuportier, 2007) sendo, por isso, necessária a sua integração nas estratégias de descarbonização dos edifícios (Climate Bonds Initiative, 2018). Essencialmente, estas estratégias consistem em: estimular a eficiência energética nos novos edifícios, adaptar e renovar edifícios existentes aos novos padrões de energia, garantir a redes energéticas com baixo teor de GEE para o abastecimento indireto de energia e utilização de materiais de construção com baixo teor de GEE (Climate Bonds Initiative, 2018). A utilização de novas tecnologias e o relacionamento entre as empresas de construção, os fornecedores e os clientes, são muito importantes na correta implementação de estratégias, assegurando, também, a sustentabilidade ao longo da cadeia de valor (Cataldo, Banaitis, Samadhiya, & Banaitiene, 2022). Atualmente, apenas 20% dos

edifícios, a nível global, são considerados eficientes, havendo, por isso, espaço para melhoria (Climate Bonds Initiative, 2018).

Para tal é necessário conhecer melhor o impacto do setor da construção de edifícios nos vários domínios ambientais e, em particular, para as emissões de GEE.

## 1.2 Objetivos e âmbito da dissertação

Esta dissertação tem como principal objetivo quantificar a pegada de carbono anual do setor da construção de edifícios em cada país da UE, focando o CO<sub>2</sub> (doravante designado como "carbono") incorporado ao longo da cadeia de valor, com exceção da etapa de operação e utilização de edifícios. No âmbito desta dissertação entende-se como setor da construção de edifícios a construção/renovação de edifícios.

Assim, nesta dissertação foi desenvolvida uma nova metodologia para a quantificação anual das emissões de CO<sub>2</sub> na pegada de carbono à escala nacional e desagregada nas diferentes fases da cadeia de valor do setor (extração de matérias-primas, produção de materiais de construção, construção e manutenção, demolição e gestão de resíduos e transporte). Não foi considerada a fase de operação/utilização dos edifícios dado já existir amplo conhecimento sobre a mesma. Em termos de materiais de construção o enfoque foi dado aos materiais mais comuns e intensivos em carbono, nomeadamente cimento/betão, aço, vidro e tijolos cerâmicos.

Como referido, esta dissertação tem como âmbito geográfico os países da UE (Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha e Suécia). Em termos de âmbito temporal, o trabalho é feito à escala anual, para um ano médio obtido a partir de valores anuais de 2017 a 2021. Não foram consideradas emissões associadas à importação de materiais de construção e matérias-primas. Desta forma pretende-se estimar as emissões libertadas em território da UE e que são aquelas normalmente consideradas nos respetivos inventários nacionais de emissões e para as respetivas políticas de mitigação.

Nesta dissertação procura-se responder à seguintes questões:

1) Como combinar a informação existente na UE para desenvolver uma metodologia que permita estimar as emissões anuais da cadeia de valor da construção de edifícios por estado-membro?

- 2) Quais as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> na cadeia de valor do setor da construção em cada país da União Europeia?
- 3) Qual a quantidade aço, vidro, cimento e tijolos cerâmicos consumidos no setor da construção de edifícios, em cada país da União Europeia e qual o seu peso na pegada de carbono do setor?
- 4) Qual o potencial de materiais de baixo carbono e soluções inovadoras para reduzir a pegada de carbono da cadeia de valor no setor da construção de edifícios na União Europeia?

### 1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação começa com uma revisão de literatura, onde se recolheu informação sobre o setor da construção de edifícios na União Europeia e a sua pegada de carbono ao longo da cadeia de valor, com foco em casos de estudo mais semelhantes.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na dissertação e está estruturada de acordo com as fases da cadeia de valor consideradas. A metodologia divide-se nas seguintes secções: 1) Abordagem metodológica global; 2) Extração de matérias-primas; 3) Produção de materiais de construção; 4) Transporte; 5) Construção; 6) Demolição; 7) Transporte De Resíduos

Os resultados estão representados no capítulo 4. A organização deste capítulo foi feita, também, com base nas fases consideradas da cadeia de valor. Os resultados compreendem a quantificação da pegada de carbono do setor em estudo, por país da União Europeia, assim como os valores de energia consumida e quantidades de materiais produzidos/transportados, também por Estado-Membro. Os resultados englobam, ainda, alguns indicadores calculados.

O capítulo 5 aborda a discussão dos resultados, onde são interpretados e comparados com a revisão de literatura. Inclui ainda uma análise de sensibilidade dos pressupostos considerados face aos principais resultados obtidos,

O capítulo 6 procura sistematizar quais as são soluções atuais capazes de fazer face às emissões que caracterizam o setor em estudo, descrevendo algumas medidas prontas a aplicar e que verificam um potencial para solucionar o problema em questão.

O capítulo 7 consiste na conclusão, destacando os principais pontos estudados e resultados obtidos nesta dissertação. É feita, também, uma breve análise às limitações identificadas e como podem ser melhoradas em estudos futuros.







## REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção sistematiza um conjunto de informação relevante para o melhor conhecimento da pegada carbónica do setor da construção de edifícios na União Europeia, incluindo uma análise mais detalhada da contribuição da extração de recursos minerais e da construção para esta pegada. A seção começa por apresentar o setor da construção de edifícios na UE, do ponto de vista económico, seguindo-se a caracterização sucinta da área construída e da sua cadeia. É ainda sistematizado o conhecimento atual ao nível da pegada de carbono do setor da construção de edifícios e por fim, o papel das diferentes componentes da cadeia para as emissões totais de CO<sub>2</sub>.

### 2.1 A importância económica do setor da construção de edifícios na União Europeia

A atividade construção pode ser categorizada em quatro tipos principais: edifícios residenciais (apartamentos e casas), edifícios institucionais e comerciais (como escolas, hospitais, centros comerciais, lojas de retalho), construção industrial (ex. fábricas da indústria química, centrais elétricas) e infraestruturas (estradas, túneis, pontes, caminhos-de-ferro, sistemas de esgotos, condutas) (International Resource Panel, 2020). No âmbito desta dissertação, conforme referido na seção anterior, o setor da construção de edifícios engloba a construção e gestão de edifícios dos vários tipos.

Segundo a "European Public Real Estate Association" ou EPRA (2022), as propriedades comerciais, englobam lojas de pequeno comércio, instalações comerciais e de lazer, escritórios, armazéns, instalações industriais ligeiras, bem como hotéis, cuidados de saúde e alguns outros edifícios não residenciais. Para além destas, novas formas de propriedade comercial continuam

a surgir. O seu valor de mercado em 2021, com base no stock de propriedade existente, era de, aproximadamente, 8,8 biliões de euros. De todas as tipologias de edifícios comerciais presentes na União Europeia, os escritórios apresentam um valor comercial superior (sensivelmente 3,2 biliões de euros), embora o retalho e a indústria também apresentem stocks substanciais (2,6 e 2,4 biliões, respetivamente). Comparativamente aos edifícios comerciais, o valor total dos imóveis residenciais é muito superior, visto apresentar um valor de mercado de 29,9 biliões de euros (também com base no stock de propriedade existente). O stock de propriedades residenciais inclui habitação própria ocupada, arrendada a particulares e habitação social, bem como soluções residenciais especializadas, tais como habitação para estudantes. A estrutura da propriedade do mercado imobiliário varia em toda a Europa (EPRA, 2022).

Em 2021, na UE e Reino Unido (UK), o investimento anual em novos edifícios comerciais, assim como a renovação e desenvolvimento dos edifícios existentes, aumentou para 371 mil milhões de euros (EPRA, 2022). Por sua vez, o investimento em habitação consistiu em 921 mil milhões de euros. Somando-se os dois investimentos anteriores ao investimento em infraestruturas e outros edifícios não domésticos (cerca de 581 mil milhões de euros), obtém-se um valor total de 1,9 biliões de euros. Este valor representa quase dois terços do investimento de capital na economia europeia, sendo que os outros investimentos foram dirigidos para nova maquinaria, equipamentos para transporte, sistemas de armas, entre outros (EPRA, 2022).

Segundo o Eurostat (European Commission, 2023), a importância do sector da construção pode ser analisada através do valor acrescentado bruto (VAB), gerado por pelo setor, relativamente ao VAB total na UE e que se situou entre os 5 e 6 % no período de 2010 a 2021. Foi mais elevada em 2010 (5,8%), reduzindo para 5,1% entre 2014 e 2017 e aumentando novamente para 5,5% em 2020 e 2021. O peso do VAB da construção na economia flutuou entre países, sendo que, enquanto uns apresentaram descidas neste setor, outros denotaram aumentos notáveis. Com efeito, a importância do VAB na construção em % diminuiu para 14 Estados-Membros entre 2010 e 2021, sendo que as maiores descidas foram verificadas na Bulgária, Espanha, Grécia e Eslováquia. Em sentido contrário, os países que verificaram um maior aumento do peso do VAB foram a Hungria, Dinamarca, Alemanha e Finlândia. Em 2021, os Estados-membros com maior importância relativa nas suas economias do VAB no setor da construção foram a Finlândia (7,7 %), Roménia (7,3 %), Áustria (7,2 %) e Lituânia (7,1 %) (European Commission, 2023).

O número de empresas e o número de pessoas empregadas é um bom indicador do desenvolvimento do setor da construção, nos diferentes Estados-Membros da UE. Segundo o Eurostat (European Commission, 2023), recorrendo a dados de 2019-2020, os países, e

respetivas regiões, com mais empresas no setor da construção são: as regiões francesas de Île de France (176 000 empresas), Provença-Alpes-Côte d'Azur (89 000) e Rhône-Alpes (85 000) e Lombardia, em Itália (95 000). Relativamente ao número de pessoas empregadas no sector da construção, a região Île de France apresentou (605 000 empregados), seguido por Lombardia (256 000), Comunidade de Madrid (205 000) e Cataluña (203 000) em Espanha (European Commission, 2023). Ainda com recurso ao Eurostat, verifica-se que em 2020 existiam cerca de 3 890 335 empresas de construção nos países da UE (European Commission, 2023).

Tendo em conta a importância deste setor para a economia da UE, foi criado o "European Construction Sector Observatory"<sup>1</sup> (ECSO) que analisa e realiza regularmente avaliações comparativas sobre o sector da construção em 27 países da UE e no Reino Unido, fornecendo aos decisores políticos e partes interessadas informações atualizadas sobre as condições de mercado e desenvolvimentos de política. Tem como principais objetivos: monitorizar as condições e tendências de mercado, assim como as estratégias nacionais/regionais; encorajar a partilha de conhecimentos e replicar boas práticas; bem como sensibilizar para as medidas e iniciativas políticas que têm impacto na cadeia de valor da construção (European Commission, 2023).

No que respeita a fluxos físicos de recursos, mais de 30-50% da utilização total de materiais na Europa destina-se à habitação e consiste principalmente em ferro, alumínio, cobre, argila, areia, gravilha e calcário (Ecorys, 2014). Os minerais apresentam a maior quota-parte de todos os materiais consumidos pelos edifícios. O sector da construção utiliza, sensivelmente, 65% dos agregados totais consumidos na UE (areia, gravilha e pedra britada) e cerca de 20% do total de metais (Ecorys, 2014). Entre, 2003 e 2011, a União Europeia consumiu entre 1 200 e 1 800 milhões de toneladas de materiais de construção por ano para novas construções e remodelações (Ecorys, 2014). Em peso, os materiais agregados representam cerca de 45% do total de materiais (Ecorys, 2014). Já o betão, representa 42% dos materiais utilizados, seguido pelos tijolos com 6,7% (Ecorys, 2014). A maior fração metálica é o aço, que representa cerca de 2,5% dos materiais utilizados em peso. Os restantes materiais representam, cada um, menos de 1% da utilização de materiais (Ecorys, 2014).

---

<sup>1</sup> [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory_en)

## 2.2 Área construída na Europa

Estima-se que, em 2011, existiam cerca de 25 mil milhões de m<sup>2</sup> de superfície útil construída na UE (incluindo UK, doravante UE+) e que este valor tem vindo a aumentar a uma taxa de cerca de 1% por ano (Buildings Performance Institute Europe, 2011). Comparativamente com a China e os EUA, a UE+ tem uma maior densidade de construção (espaço construído sobre área de terreno). Os seus cinco maiores países (em termos de população, i.e. França, Alemanha, Itália, Espanha e UK) são responsáveis por aproximadamente 65% da área construída total na UE+ (Buildings Performance Institute Europe, 2011). As diferenças na área construída nos vários estados-membros são complexas e influenciadas por uma série de fatores, incluindo o número de habitantes, riqueza económica, cultura, clima, escala da atividade comercial e aumento da procura de habitação entre outros (Buildings Performance Institute Europe, 2011). Com base no estudo realizado pelo "Buildings Performance Institute Europe" (BPIE) em 2011, em que se estimou a área útil construída per capita para cada país, concluiu-se que os países da região Norte e Oeste do continente europeu têm uma área total per capita mais elevada do que nas regiões Sul, Centro e Leste.

Após a pandemia de 2022, onde o setor da construção de edifícios denotou um abrandamento notável, o número de edifícios construídos no mundo voltou a aumentar, o que influenciou, proporcionalmente, a necessidade global de energia e as emissões associadas (United Nations Environment Programme, 2022). A área construída mundial cresceu cerca de 1% relativamente a 2021, verificando-se, atualmente, uma área total de 242 mil milhões de m<sup>2</sup> associada a edifícios construídos, no mundo (United Nations Environment Programme, 2022).

Segundo a "United Nations Environment Programme" (UNEP), em 2021, o aumento da área útil construída dos edifícios variou entre países, visto ser diretamente proporcional ao investimento feito nas atividades de construção. Na UE, a Itália foi o país que apresentou um aumento superior na área útil construída de edifícios, relativamente a 2020, nas atividades relacionadas com o sector da construção (23%). Países como o UK, Hungria e França também registaram aumentos significativos (respetivamente, 12%, 11% e 10%). Alguns países não denotaram qualquer crescimento na área útil construída, como é o caso da Alemanha, Suíça e Polónia. Existem, inclusive, países que registaram um declínio na área útil de edifícios construída, como a Espanha.

Como referido, em 2011, a área edificada, na Europa, consistia em 25 mil milhões de m<sup>2</sup> (Mentior, Reccardo, & Marchi, 2015). Cerca de 75% dos 25 mil milhões de m<sup>2</sup> (18,75 mil milhões de m<sup>2</sup>) reporta-se a "espaço residencial" (Mentior, Reccardo, & Marchi, 2015). Um terço deste

valor (6,25 mil milhões de m<sup>2</sup>) são "blocos de apartamentos", capazes de albergar várias famílias e os restantes dois terços (12,5 mil milhões de m<sup>2</sup>) são consideradas "casas unifamiliares" (Mentior, Reccardo, & Marchi, 2015). De acordo com o BPIE, os países da região Norte e Oeste da UE têm uma área total per capita superior à das regiões Sul e Centro e Este. Os países da Europa Central e Leste apresentam uma área construída por habitante mais baixa, com uma área útil de cerca de 25 m<sup>2</sup>/pessoa, em comparação com os países do Norte e do Sul da Europa, que apresentam valores de cerca de 40 m<sup>2</sup>/pessoa. Por outro lado, a área útil não residencial per capita no Norte da UE é quase o dobro, relativamente às outras regiões da Europa (Buildings Performance Institute Europe, 2011).

Em termos de área construída per capita, os países do Centro e Leste da UE estão entre os países com a menor área residencial por habitante, tanto em termos de casas unifamiliares como de blocos de apartamentos. Os países do Norte e Oeste têm as áreas residenciais per capita mais elevadas em comparação com outras regiões. Os países do Sul têm a maior área per capita de habitação unifamiliar, essencialmente devido ao número elevado de casas de férias (Buildings Performance Institute Europe, 2011). Países como a Áustria, Bulgária, República Checa, Alemanha, Lituânia, Polónia e Suécia possuem um equilíbrio entre a área útil destinada a casas unifamiliares e apartamentos. Já a Grécia, Irlanda, Noruega e UK têm uma menor proporção de área útil de apartamentos, enquanto a Estónia, Letónia e Espanha apresentam uma área superior (Buildings Performance Institute Europe, 2011).

No que respeita a edifícios não residenciais, tem-se cerca de 25% da área total edificada na UE (cerca de 6,25 mil milhões de m<sup>2</sup>) (Mentior, Reccardo, & Marchi, 2015). Os edifícios de venda e retalho constituem a maior parte da área não residencial (28%). Os edifícios de escritórios são a segunda maior categoria, com uma área útil de 23% da área não residencial. Hotéis, restaurantes e cafés correspondem a 11% da área não residencial (Buildings Performance Institute Europe, 2011).

## 2.3 Cadeia de valor da construção de edifícios

Segundo Kaplinsky (2004), uma cadeia de valor descreve as diferentes atividades necessárias, ao longo do seu processo de conceção, para conceber um produto, ou serviço. Passa pelas fases intermédias de produção (que envolvem uma combinação de transformações físicas e a entrada de diversos serviços de produção), entrega ao consumidor final, e eliminação após a sua utilização (Kaplinsky, 2004). Michael Porter (1998), define cadeia de valor como uma cadeia de atividades controladas por uma empresa que opera numa indústria/setor económico

específico, onde os produtos passam por diferentes fases e, em cada uma destas, o produto ganha valor. Uma cadeia de valor deve identificar as entradas, os processos de transformação e as saídas de cada fase, explicitando a aquisição e consumo de recursos, como capital, mão-de-obra, materiais, atividades de gestão, entre outros (Porter, 1998).

A cadeia de valor para o setor da construção de edifícios é complexa, pode tomar diversos formatos e etapas distintas. Na Figura 1, encontra-se uma representação simplificada da cadeia de valor do setor (International Resource Panel, 2020) e que inclui as seguintes etapas:

1. financiamento do projeto por parte de investidores;
2. planeamento e design por parte de arquitetos, engenheiros e urbanistas, com o envolvimento do governo adequado à escala do projeto;
3. a construção dos materiais utilizados na construção, que envolve o processo de extração de matérias-primas, processamento e produção para a sua forma final;
4. o transporte dos materiais até ao local de construção;
5. a construção do projeto, que envolve os empreiteiros e arquitetos;
6. o mercado de propriedade, onde se procederá à venda do projeto quando finalizado;
7. a exploração do projeto, e
8. o tratamento de fim de vida, onde ocorre a demolição e se processa os resíduos resultantes (International Resource Panel, 2020).



Figura 1 - Cadeia de valor do setor da construção de edifícios (International Resource Panel, 2020)

Outra possível representação da cadeia de valor do setor da construção de edifícios encontra-se na Figura 2, onde estão representadas as diferentes etapas do ciclo de vida de uma

construção e no qual o setor da construção de edifícios se enquadra. De acordo com a figura, compreende-se que neste caso a cadeia de valor estrutura-se em 4 etapas principais, tendo

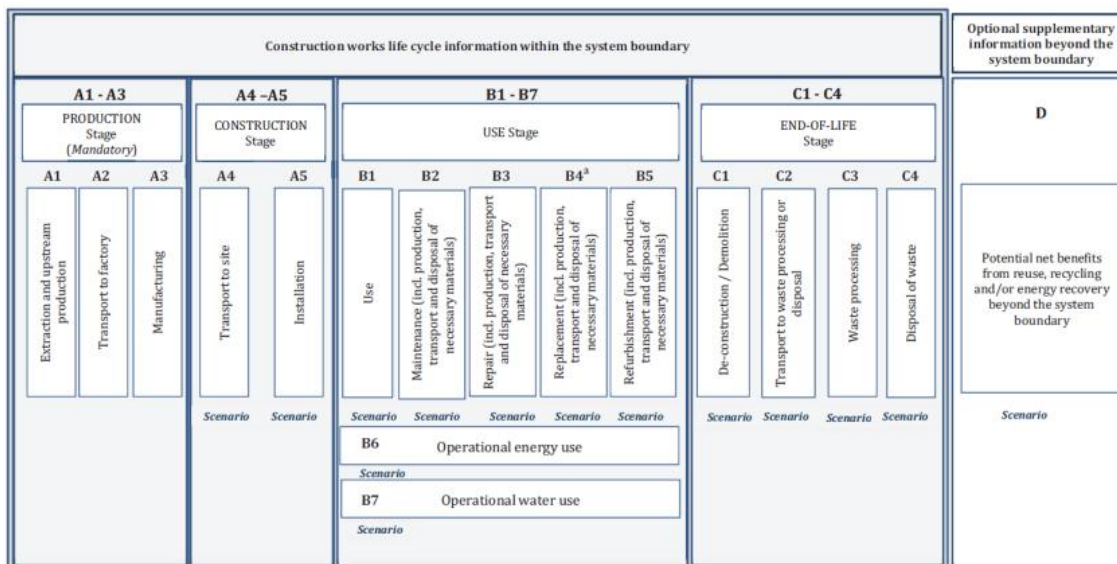


Figura 2 - Cadeia de valor do setor da construção de edifícios (Nunes, Palmeri, & Love, 2019)

cada uma delas subfases: 1) Fase de Produção, que inclui a extração de matérias-primas, transporte até à fábrica e produção de materiais; 2) Fase de Construção, onde ocorre o transporte dos materiais para o local e a instalação da estrutura; 3) Fase de Utilização, com o uso do edifício, a sua manutenção, reparação, substituição, remodelação e as atividades operacionais associadas; e 4) Fase de Fim de Vida, onde ocorre a demolição, transporte dos resíduos de construção, processamento e eliminação dos mesmos (Nunes *et al.*, 2019).

Seguidamente é feita uma descrição uma pouco mais detalhada de cada fase desta segunda representação da cadeia de valor do setor da construção de edifícios.

A **extração de matérias-primas** envolve a extração de minerais preciosos e outros recursos naturais da terra. Esta é necessária para qualquer material que não possa ser produzido artificialmente num laboratório ou fábrica. Os materiais extraídos pelos processos de extração (via mineração, pedreiras, etc.), e que são muito utilizados na indústria da construção, incluem ferro, carvão, pedra calcária, argila, sal, gravilha, etc. (Labaran, Mathur, & Farouq, 2021). Cada edifício é um conjunto complexo de dezenas de diferentes materiais.

O **fabrico de materiais de construção** refere-se ao processo de criação ou produção dos materiais utilizados nos projetos de construção. O processo de fabrico, apesar de variar para cada material, envolve quase sempre um processamento da matéria-prima original, sendo moldado e refinado até se obter o produto final desejado (WGBC, 2019).

O **transporte** é o movimento de pessoas e bens de um determinado local para outro. No contexto do setor da construção de edifícios, inclui-se o transporte de várias pessoas, máquinas e materiais de construção tais como aço, cimento, tijolos, agregados finos e grosseiros desde a fonte de fornecimento original até ao local do projeto (Labaran, Mathur, & Farouq, 2021). A fase de transporte inclui o transporte de pessoal, equipamento e materiais, tanto no local como fora dele. O sector da construção é responsável por uma parte considerável da utilização de camiões ligeiros, médios e pesados no sistema de transportes. O tipo e a dimensão dos veículos de transporte utilizados variam em função da dimensão e do tipo dos materiais de construção, dos tipos de combustível e das taxas de consumo de combustível (Nadoushani & Akbarnezhad, 2015).

A **construção** do edifício consiste na implementação de uma estrutura física num respetivo terreno. A estruturação do projeto inclui a preparação do local, a construção de fundações, paredes, telhados, instalação elétrica, canalizações e acabamentos finais (pintura e pavimentação) (WGBC, 2019). Durante a fase de construção, são vários os equipamentos utilizados na implantação das diferentes componentes do edifício, resultando em consumo significativo de energia (Nadoushani & Akbarnezhad, 2015).

A **fase operacional** de um edifício refere-se ao período em que o edifício está a ser utilizado, para o fim a que se destina. Começa quando o edifício é ocupado, após a conclusão da construção, e continua até que deixe de ser utilizado (Ibn-Mohammed, Greenough, Ozawa-Meida, & Acquaye, 2013). Durante a fase operacional, os sistemas e componentes do edifício, tais como aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), iluminação, canalização e sistemas elétricos, são operados para manter um ambiente seguro, confortável e funcional para os ocupantes (Ibn-Mohammed, Greenough, Ozawa-Meida, & Acquaye, 2013). A fase operacional inclui também manutenção e reparações regulares para assegurar que o edifício se mantém em boas condições e continua a funcionar corretamente. Isto pode incluir tarefas como a limpeza, substituição de filtros, reparação de fugas, inspeção de equipamento, etc. (Basbagill, Flager, Lepech, & Fischer, 2013).

As atividades envolvidas na **fase de fim de vida** destinam-se principalmente a lidar com a quantidade de resíduos gerados após a demolição ou desconstrução de edifícios u que são comumente conhecidos como resíduos de construção e demolição (RCD). As estratégias mais comuns utilizadas são a deposição em aterro, a reutilização e a reciclagem. Todas estas estratégias incluem atividades que requerem a utilização de maquinaria pesada que influencia o consumo de energia (Nadoushani & Akbarnezhad, 2015).

## 2.4 Pegada de carbono no setor da construção de edifícios

A pegada de carbono consiste na contabilização das emissões de GEE ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (bens ou serviços), desde a extração de matérias-primas e produção, até à sua utilização e reutilização final, reciclagem ou eliminação (The Carbon Trust, 2022). Wiedmann e Mix (2007), descrevem a pegada de carbono como sendo “uma forma de medir a quantidade de dióxido de carbono emitido através da combustão de combustíveis fósseis. No caso de uma organização empresarial, é a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, direta ou indiretamente, em resultado das suas operações diárias. Também pode refletir a energia fóssil representada num produto ou mercadoria atingindo mercado”.

A pegada de carbono da construção de edifícios refere-se à quantidade de emissões de GEE que são produzidas durante a extração de materiais, produção de materiais, transporte, construção, operação e demolição de edifícios (Fenner *et al.*, 2018) presentes nas categorias: edifícios residenciais, edifícios comerciais e edifícios industriais (International Resource Panel, 2020). A pegada de carbono do sector da construção de edifícios pode ser decomposta em duas categorias principais: emissões operacionais e emissões incorporadas. As emissões operacionais consistem em emissões que resultam da energia utilizada para o funcionamento dos edifícios, enquanto as emissões incorporadas referem-se às emissões de carbono que têm origem na produção, transporte e eliminação de materiais de construção (Cabeza, *et al.*, 2014).

A **fase de construção** de um edifício tem uma pegada de carbono significativa devido à produção e transporte de materiais, bem como à energia necessária para construir o edifício. A fase de **operação** de um edifício, incluindo aquecimento, arrefecimento, iluminação e aparelhos em funcionamento, também contribui para a sua pegada de carbono, uma vez que estas atividades requerem a utilização de energia, que é frequentemente produzida através da queima de combustíveis fósseis (Fenner *et al.*, 2018). Finalmente, a **demolição e eliminação** de um edifício pode também produzir emissões significativas de GEE (Schwartz, Raslan, & Mumovic, 2018).

O sector da construção representa, sensivelmente, 40% da pegada de carbono total global (Kanyilmaz, *et al.*, 2022). Semelhantemente, na UE, o sector da construção contribui com cerca de 36% do total de emissões de CO<sub>2</sub> geradas no continente (Kraft, *et al.*, 2022). Estes valores são explicados pelo facto de os edifícios consumirem grandes quantidades de energia em iluminação, aquecimento, arrefecimento, ventilação e outras atividades que atualmente necessitam de combustíveis fósseis (Cabeza, *et al.*, 2014).

Em 2021, houve um aumento de 5% nas emissões operacionais de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia dos edifícios no mundo, atingindo, aproximadamente, 10 Gt de CO<sub>2</sub> (United Nations Environment Programme, 2022). Este valor ultrapassou em 2% o pico anterior de 9,6 Gt de CO<sub>2</sub>, em 2019. Este aumento das emissões ocorreu após uma redução significativa de 10% nas emissões de CO<sub>2</sub> em 2020, devido à pandemia COVID-19 (United Nations Environment Programme, 2022). O estudo indica que a falta de mudança na eficiência energética dos edifícios, a nível global, reflete-se no aumento das emissões de CO<sub>2</sub> no sector. Adicionalmente, a Agência Internacional de Energia estima que, em 2021, 8% da energia utilizada na operação dos edifícios tem por base combustíveis fósseis e 19% do uso de eletricidade (United Nations Environment Programme, 2022).

Atualmente existem vários estudos relativos às emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da fase operacional dos edifícios. Lu *et al.* (2020), realizou um estudo onde, através de uma análise exaustiva de conjuntos de dados oficiais, estatísticas governamentais e artigos de revistas pertinentes, verificou-se que as emissões globais de carbono em edifícios comerciais continuaram a aumentar, ano após ano. Os autores comparam, ainda, os seus resultados com os regimes de incentivos ou subsídios introduzidos para a atenuação das emissões de carbono. Gordic *et al.* (2023), estudou o consumo de eletricidade, fornecida pelas respetivas redes elétricas nacionais, em agregados familiares de 31 países europeus (27 da UE e 4 países de fora). Os resultados indicam que as emissões anuais de carbono destes agregados familiares variam entre 0,09 e 6,44 tCO<sub>2</sub>, consoante o país (Gordic *et al.*, 2023). Urge-Vorsatz *et al.* (2013), realizou outro estudo cujo objetivo foi resumir os principais desafios de sustentabilidade relacionados com a utilização de energia térmica nos edifícios e identificar estratégias para enfrentar estes desafios. Os resultados deste trabalho mostram como os edifícios podem desempenhar um papel fundamental na resolução dos desafios da sustentabilidade, sendo que a energia utilizada pode reduzir um terço através da proliferação de conhecimentos de ponta em matéria de construção e de reabilitação. Cao *et al.* (2016), elaborou um estudo onde apresenta uma breve panorâmica da situação do consumo de energia nos edifícios, quais as abordagens relevantes para a poupança de energia e a influência das alterações climáticas a nível global, que, segundo o mesmo, tem um impacto significativo no desempenho energético dos edifícios, nomeadamente no aquecimento e arrefecimento dos espaços. Berardi (2017), recolheu e discutiu dados retirados de vários estudos relativos aos consumos de energia de edifícios nos EUA, EU, Brasil, Rússia, Índia e China, com o objetivo de fornecer um inventário atualizado. Os resultados mostram que os consumos totais de energia nos edifícios no Brasil, Rússia, Índia e China ultrapassaram os dos países desenvolvidos, tornando urgente o desenvolvimento de políticas de

eficiência energética para os edifícios destes países. Além disso, concluiu-se que as políticas adotadas nos países desenvolvidos revelam-se insuficientes para garantir uma redução significativa do consumo de energia nos seus edifícios nos próximos anos (Berardi, 2017).

A fase **de operação** é assim responsável pela maioria das emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida dos edifícios (i.e. emissões operacionais) o que reflete os comportamentos dos utilizadores e a elevada dependência da sociedade nos combustíveis fósseis, especialmente para gerar eletricidade e calor. Fatores como a localização do edifício, o tipo de ocupação e fonte energética afetam o consumo de energia (Fenner *et al.*, 2018). Vários estudos corroboram como a fase de operação contribui significativamente para a pegada de carbono do ciclo de vida do edifício. Em edifícios comerciais, a maioria das emissões de carbono que ocorrem durante a fase de operação resultam do aquecimento e arrefecimento de espaços e da iluminação artificial, representando aproximadamente 12%, 8%, e 18% do consumo total de energia, respetivamente (Nadoushani & Akbarnezhad, 2015). Em termos de emissões operacionais, o aquecimento é das fontes mais significativas (Ibn-Mohammed, Greenough, Ozawa-Meida, & Acquaye, 2013). Segundo o Eurostat (2022), em 2020, o setor residencial na UE registou um consumo médio de 62,8% de energia para o aquecimento das habitações. Grande parte desta energia é produzida com combustíveis fósseis e tem emissões de GEE associadas - apenas 26,8% deste aquecimento é proveniente de fontes renováveis (Eurostat, 2022).

Segundo o estudo de Huang *et al.* (2018), tendo como base dados referentes ao ano de 2009, a quantidade total de CO<sub>2</sub> emitido no sector da construção nesse ano, por 27 estados-membros da UE, é de 579 milhões de toneladas. Este valor corresponde a 10% do total de CO<sub>2</sub> emitido na UE em 2009, ficando atrás de países como a China e Índia. As emissões são divididas em diretas e indiretas, sendo que as emissões diretas são resultantes da energia necessária para as operações de construção, manutenção e demolição no local, e as emissões indiretas provêm da energia necessária para fornecer os produtos e serviços para as operações de construção. Na UE+, o Reino Unido (16%), Alemanha (14%), França (12%) e Espanha (8%) são os países que mais contribuem com emissões diretas de CO<sub>2</sub> provenientes do sector da construção (Huang *et al.*, 2018). Estes países também são responsáveis pelo maior número de emissões indiretas de CO<sub>2</sub>. O vetor energético responsável pela maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> no sector da construção, na UE+, é o gasóleo (Huang, Krigsvoll, Johansen, Liu, & Zhang, 2018).

Conforme já referido, a pegada de carbono do setor da construção de edifícios é diferente consoante as características e funções dos edifícios. Existe já um conjunto de trabalhos e estudos a focar esta questão. Destacam-se dois dos mais relevantes para o objetivo desta dissertação que são seguidamente sumarizados.

Rock et al (2020), estudaram as tendências globais nas emissões de carbono ao longo do ciclo de vida dos edifícios residenciais e comerciais, compilando mais de 650 casos de estudo e analisando os diversos ciclos de vida. Nesta análise, distinguiram as emissões entre “incorporadas” e “operacionais”, e dividiram os edifícios em três categorias: “New advanced” (edifícios com baixo consumo energético e baixas emissões associadas), “New standart” (edifícios em conformidade com as novas regras relativas ao desempenho energético) e “Existing standart” (edifícios construídos antes da implementação das novas regras). Esta análise concluiu que, nos edifícios residenciais, a média das emissões de GEE incorporadas nos edifícios “Existing standart” e edifícios “New standart” é igual (cerca de 6,7 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>). No entanto, os edifícios residenciais “New advanced” apresentaram valores médios de emissões superiores, rondando os 11,2 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>. A mesma tendência não se verificou para os edifícios comerciais investigados, onde as emissões incorporadas de edifícios “Existing standart” são superiores às emissões de edifícios “New standart” e “New advanced”, com valores de 17,3, 11,6 e 12,0 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, respetivamente. Este estudo não especifica as diferentes etapas da cadeia de valor, distinguindo apenas entre emissões de GEE incorporado e operacional.

Relativamente às emissões operacionais, tanto para os edifícios residenciais como comerciais, verificou-se que os edifícios “Existing standart” apresentavam emissões superiores aos outros tipos de edifícios. Tal deve-se ao facto de os edifícios mais recentes estarem em concordância com novas regras de construção mais sustentável, apresentando um melhor desempenho energético e menos emissões associadas às operações. Além disso, verificou-se que as emissões operacionais são substancialmente superiores quando comparadas com as emissões incorporadas, excetuando os edifícios “New advanced” que apresentam emissões incorporadas e operacionais semelhantes (Rock, *et al.*, 2020)

Na investigação de Mouton *et al.* (2022) foram definidos padrões de referência para novos edifícios residenciais na Bélgica. Para tal, realizaram-se análises estatísticas a diversos edifícios residenciais no país, tendo-se separado os mesmos em 4 categorias: “Detached houses”; “Semi-detached”; “Terraced” e “Apartment”. Para cada uma das categorias referidas, recolheram-se as informações referentes às emissões incorporadas e operacionais. Os resultados mostraram que as emissões operacionais são superiores às emissões incorporadas, num rácio de, sensivelmente, 70%-30%, respetivamente. Segundo o estudo, os edifícios residenciais “Detached” apresentam emissões (incorporadas e operacionais) superiores qualquer outro tipo de edifício. Os edifícios “Terraced” são responsáveis por menor volume de emissões.

Além dos estudos já referidos existem ainda outros que também focam a análise das emissões de GEE incorporadas na cadeia de valor da construção de edifícios e que se encontram

sistematizados na tabela seguinte. Alguns desses estudos incluem as emissões da fase operacional. Na sua grande maioria, a literatura existente tem por base a utilização de metodologias de análises de ciclo de vida para tipologias de edifícios ou mesmo edifícios específicos. O âmbito espacial é alguns casos em alguns países da Europa e muitas vezes a análise foca-se no tempo de vida do(s) edifícios (por exemplo 50 anos).

Tabela 1 - Estudos que analisam as emissões de GEE incorporadas na cadeia de valor da construção de edifícios

Estudo	Objetivo	Âmbito	Pegada de carbono	Emissões para etapas da cadeia de valor
<b>Chau <i>et al.</i>, (2015)</b>	Revisão de diferentes estudos de ciclo de vida, focados nas emissões de GEE ao longo das várias fases do processo de construção de edifícios.	Não especificado Estudos revisitos focando âmbitos variados, mas sobretudo para casos de estudo de edifícios ou tipologias de edifícios	Não estudado	Emissões detalhadas para as fases de produção de materiais, transporte, construção e operação. O carbono incorporado representa 10 a 27% das emissões totais em edifícios comerciais e 15 a 40% em edifícios residenciais.
<b>Schwartz <i>et al.</i> (2018)</b>	Comparação do ciclo de vida de novos edifícios com edifícios renovados	Casos de estudo provenientes de países europeus, asiáticos e americanos. 82% dos casos de estudo consistem em edifícios novos e 18% são edifícios renovados.	Pegada de carbono em edifícios renovados: 2 250 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /50 anos. Pegada de carbono em novos edifícios: 3 500 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /50 anos.	Não detalhado, apenas valor global
<b>Schwartz <i>et al.</i> (2022)</b>	Comparação do ciclo de vida de edifícios renovados com edifícios onde se verificaram substituições	Casos de estudos de edifícios residenciais em Londres	Renovação: 1 100 a 1 500 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Substituição de componentes: 1 220 a 1 850 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	Não detalhado, apenas valor global

Estudo	Objetivo	Âmbito	Pegada de carbono	Emissões para etapas da cadeia de valor
Rock <i>et al.</i> (2022)	Contribuição das diferentes etapas da cadeia de valor, baseando nas etapas de ciclo de vida da norma EN 15978	Casos de estudo de edifícios residenciais e comerciais em cinco países europeus: Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França e Países Baixos.	Extração, transporte e produção de materiais: 300 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Utilização: 120 kg de CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Construção: 40 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Fim de vida: transporte de resíduos de construção: 20 kg de CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Fim de vida: processamento resíduos: 60 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração das matérias-primas agregado com transporte para as fábricas e produção de materiais</li> <li>• Utilização/operação</li> <li>• Transporte resíduos</li> <li>• Processamento e eliminação de resíduos</li> </ul>
(Peng, 2016)	Cálculo das emissões de carbono do ciclo de vida de um edifício com recurso a modelação da construção	Edifício universitário "Run Run Shaw", na China.	Fase operacional - 87 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /50 anos Fases do carbono incorporado - 321 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /2 anos Fase de demolição - 197 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /0,5 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração das matérias-primas agregado com transporte para as fábricas, produção de materiais e transporte para o local de construção</li> <li>• Utilização/operação</li> <li>• Transporte resíduos</li> <li>• Processamento e eliminação de resíduos</li> </ul>

Schwartz *et al.* (2018) analisou diversos casos de estudo onde se mediram as diferentes pegadas de carbono associadas a edifícios. Os resultados, após normalizados para uma esperança de vida de 60 anos e repartidos por cada etapa do ciclo de vida, mostram que as emissões de CO<sub>2</sub> incorporadas representam, em média, cerca 24%. O CO<sub>2</sub> relacionado com as operações de edifícios representou, em média, de 75% do carbono total. Já os estudos de caso que incluíram cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> devidos a obras de demolição mostraram que estas representam 1,0% da pegada de carbono total do edifício. No mesmo estudo, o autor procurou comparar o ciclo de vida de novos edifícios com edifícios renovados. Ao analisar vários casos de estudo, conseguiu determinar que a maioria dos edifícios renovados apresentavam quantidades elevadas de emissões de carbono, comparativamente a vários novos edifícios. Houve, no entanto, outros casos de estudo de edifícios renovados que mostraram um melhor desempenho que edifícios novos. Aplicando a metodologia proposta no seu estudo, o autor determinou que edifícios renovados acabavam por ter um melhor desempenho que os novos, com uma pegada de carbono média de 2 250 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/50 anos (renovados) para 3 500 (novos) kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/50 anos. Schwartz conduziu outro estudo onde comparou as emissões de carbono associadas à renovação de edifícios com as emissões devidas à substituição de componentes de edifícios. Os resultados mostram que a renovação geralmente teve um melhor desempenho do que as substituições, sendo que a pegada de carbono das renovações varia entre 1.100 e 1 500 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> e a pegada das substituições varia entre 1 220 e 1 850 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Schwartz *et al.* 2022).

Peng (2016) realizou uma análise de ciclo de vida para um edifício específico na China e obteve valores algo semelhantes. Comparando as emissões de carbono em cada fase do ciclo de vida, percebeu-se que a fase operacional é a que mais contribui para as emissões de carbono, com cerca de 73 196 toneladas de CO<sub>2</sub> (85,4% do total das emissões de carbono) a serem geradas durante o funcionamento do edifício. Num período operacional de 50 anos, a média de emissões anuais por metro quadrado é cerca de 87 kg/ (m<sup>2</sup>.ano). As fases do carbono incorporado (que denominaram de fase de construção e onde incluíram a extração de matérias-primas, produção de materiais, transporte e construção) foram responsáveis pela emissão de 10 830 toneladas de carbono (12,6% do total). Para um período de construção de 2 anos, a média de emissões anuais por metro quadrado é cerca de 321 kg/ (m<sup>2</sup>.ano). Por fim, cerca de 2% do total das emissões de carbono ocorreram durante a fase de demolição, o que equivale a 1659 toneladas. Para um período de demolição de meio ano, a média de emissões anuais por metro quadrado é cerca de 197 kg/m<sup>2</sup>.ano.

(Röck & Sørensen, 2022) investigou a contribuição das diferentes etapas da cadeia de valor, baseando nas etapas de ciclo de vida da norma EN 15978 e em vários casos de estudo de países europeus, sendo estes Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França e Países Baixos. A Figura 3 apresenta estas emissões de carbono incorporadas para as diferentes etapas. É visível que a maior contribuição das emissões de carbono incorporadas ocorre nas fases de extração das matérias-primas, transporte para as fábricas e produção (A1-3 na figura), com um valor médio de cerca de 300 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, variando entre 70 e 520 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. A segunda maior proporção de emissões de carbono incorporadas ocorre durante a fase de utilização (B1-4), com um valor médio de cerca de 120 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, representando o total de emissões provenientes de atividades de limpeza, manutenção e substituição que ocorrem ao longo de um período de exploração do edifício. As emissões de carbono incorporado na fase de utilização apresentam uma grande variação, com valores de 0 a cerca de 350 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, o que depende de parâmetros como o tipo de utilização do edifício, o sistema estrutural e os materiais escolhidos. As outras etapas representaram contribuições menores para as emissões de carbono incorporadas. A fase do processo de construção (A4-5) mostra um valor médio de cerca de 40 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> e uma variação nas emissões de 120 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Röck & Sørensen, 2022).

Por fim, Rock *et al.* (2022), mostra que a fase de fim de vida (a demolição e o transporte de resíduos de construção (C1-2)) apresenta um valor médio inferior a 20 kg de CO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>. Já o processamento e eliminação de resíduos (C3-4) representa um valor médio para emissões de cerca de 60 kg, denotando alguns casos de estudo que apresentaram valores extremos nesta etapa (Röck & Sørensen, 2022).

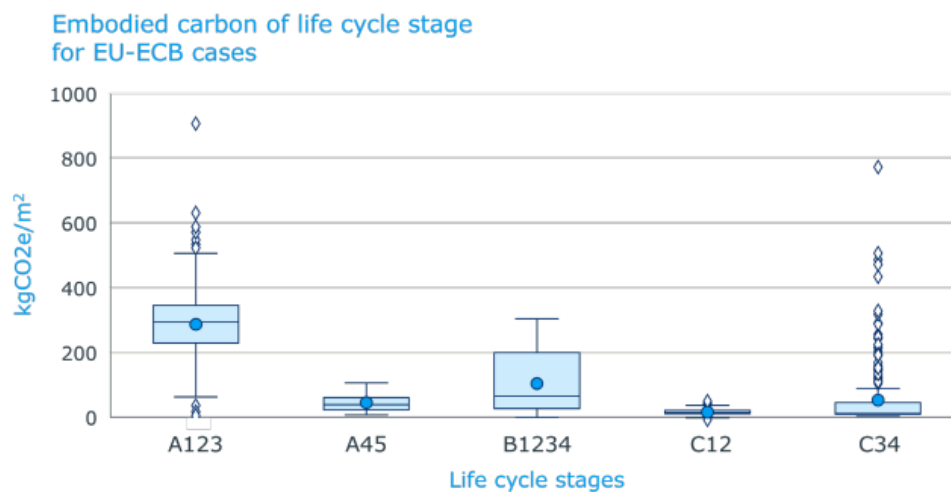


Figura 3 - Carbono incorporado por m<sup>2</sup> para diferentes fases do ciclo de vida, com base no conjunto de dados UE-BCE (Röck & Sørensen, 2022)

Chau *et al.* (2015), reviu diferentes estudos de análise de ciclo de vida de edifícios, tendo-se focado nas emissões de carbono ao longo das várias fases do processo da sua construção. Verificou-se em todos os casos de estudo que a contribuição para o carbono incorporado depende de fatores como o tipo de edifícios, o seu tempo de vida em estudo, o tipo de energia, e tecnologias utilizadas no edifício. Segundo os casos de estudo, para um tempo médio de vida de 50-60 anos, o carbono incorporado representou entre 10 e 27% das emissões de carbono totais em edifícios comerciais. Já para edifícios residenciais, e para um tempo médio de vida igual, o carbono incorporado representou entre 15 e 40% das emissões totais de carbono. Além disso, compreendeu-se que a percentagem de carbono incorporado aumentava quando o tempo médio de vida do edifício era mais curto e quando os edifícios estudados recorriam a energias renováveis para a fase de operação.

Do ponto de vista de materiais utilizados, Chau *et al.* (2015) concluiu que, em vários casos de estudo, os materiais utilizados para a estrutura dos edifícios representavam mais de 50% do carbono incorporado de um edifício, sendo notável a sua contribuição. A utilização de betão e ferro como materiais de construção explica o porquê do seu impacto no carbono incorporado (Chau *et al.*, 2015). Este detalhe vai ao encontro do que (Labaran, Mathur, & Farouq, 2021) estudaram. Em geral, a produção de materiais de construção contribui significativamente para as emissões globais de CO<sub>2</sub> da indústria, sendo 2/3 do total das emissões provenientes principalmente da produção de betão e aço. As emissões associadas a estes materiais estão ligadas aos seus processos de fabrico, incluindo a produção de cimento e o processamento do aço, que se encontram entre os sectores económicos mais dependentes da utilização de energia fóssil (Labaran, Mathur, & Farouq, 2021). De acordo com Chau *et al.* (2015), um caso de estudo mostrou como a construção de um edifício em estrutura de aço com lajes de betão implica mais energia e mais emissões de CO<sub>2</sub> do que a construção de um edifício com estrutura de betão (para um tempo médio de vida de 50 anos). Noutros estudos, o betão e as barras da estrutura, em aço, representaram, em média, 20-35% e 15-22%, respetivamente, do impacto ambiental do ciclo de vida de edifícios comerciais com uma vida útil de 50 anos (Chau *et al.*, 2015).

(Chau, Leung, & Ng, 2015) analisaram, ainda, outros estudos onde foi possível aferir o carbono incorporado resultante do transporte de materiais. Os estudos em questão mostraram que os transportes foram responsáveis por 1-8% das emissões de CO<sub>2</sub> incorporadas. Os casos de estudo com percentagem de emissões incorporadas, associadas ao transporte, superiores, apresentaram, na sua grande maioria, materiais importados de países estrangeiros. Já os casos

em que os materiais foram fabricados localmente, apresentaram menos emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao transporte. Por exemplo, no caso de Hong Kong, em que os materiais são praticamente todos importados, a contribuição do transporte para o carbono incorporado chegou aos 7%, tanto em edifícios comerciais e residenciais (Chau *et al.*, 2015).

As emissões associadas ao transporte podem ser complicadas de determinar pois exige um mapeamento rigoroso das distâncias percorridas, o tipo de veículo, os seus fatores de emissão, entre outros fatores. Obter estes dados requer, também, a colaboração dos trabalhadores no local de construção. Como tal a sua obtenção implica responsabilizar alguém pela recolha desta informação, o que pode ser difícil de concretizar (Cabrita, 2023).

À data parece tornar-se claro que existe já conhecimento científico na caracterização das emissões de GEE dos edifícios, mas sobretudo no que diz respeito às emissões operacionais. Existe bastante menos informação e conhecimento sobre emissões indiretas da cadeia de valor da construção de edifícios. Esta é uma lacuna importante uma vez que se encontram em desenvolvimento várias iniciativas de política pública que irão obrigar ao estudo mais aprofundado da pegada de carbono do setor da construção de edifícios. Além disso, os estudos atuais não consideram as emissões globais de um país e que não analisam o local onde as emissões são libertadas para a atmosfera. Desta forma, não possibilitam uma comparação com os inventários nacionais de emissões dos diversos países submetidos à UNFCCC.

## 2.5 Políticas ao nível da pegada de carbono dos edifícios

Neste contexto importa referir a relativamente recente (de 2021) Taxonomia da União Europeia<sup>2</sup> que é um sistema de classificação que auxilia empresas e investidores a identificar quais as atividades económicas mais sustentáveis, a nível ambiental, para que tomem melhores decisões de investimento (European Commission, 2023). Estas atividades económicas ambientalmente sustentáveis são descritas como "atividades que dão um contributo substancial para, pelo menos, um dos objetivos climáticos e ambientais da União Europeia, não prejudicam significativamente nenhum dos outros objetivos e cumprem as salvaguardas mínimas". A Taxonomia da UE não é obrigatória, pois não estabelece requisitos obrigatórios sobre o desempenho ambiental para empresas ou para produtos financeiros. No entanto, tem como objetivo encorajar, ao longo do tempo, uma transição sustentável, a fim de alcançar os objetivos climáticos e ambientais da UE (European Commission, 2023). Relativamente à construção de novos

---

<sup>2</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/PT/ip\\_21\\_1804](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/PT/ip_21_1804)

edifícios, a Taxonomia preconiza, para edifícios com mais de 5 000 m<sup>2</sup>, o cálculo do Potencial de Aquecimento Global para cada fase do ciclo de vida e a sua divulgação a investidores e clientes. (European Commission, 2023)

A Dinamarca é o país da UE mais avançado nesta matéria. O seu Ministério do Interior e da Habitação publicou, em 2021, a “Estratégia Nacional para a Construção Sustentável”. Neste documento, elabora e descreve um plano de ação climática ambicioso, cujo objetivo primário passa por reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> do país em 70%, até 2030, comparativamente a 1990 (Ministry of the interior and housing, 2021). Esta estratégia contempla regulamentos voluntários relativos ao carbono incorporado na cadeia de valor da construção de edifícios que, a partir de 2023, passarão a ser obrigatórios. No que diz respeito ao impacto ambiental de novos edifícios com mais de 1 000 m<sup>2</sup>, irá entrar em vigor um valor limite de 12 kg de CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>/ano (Ministry of the interior and housing, 2021). Este valor limite inclui todas as emissões de carbono relacionadas com edifícios. Para novas construções inferiores a 1 000m<sup>2</sup>, será obrigatório realizar uma Análise do Ciclo de Vida (mas sem um valor limite) (Ministry of the interior and housing, 2021). De dois em dois anos, este valor limite será reduzido, o que significa que o impacto da construção nas emissões de GEE irá diminuir durante a próxima década. É, ainda, expectável que esta estratégia incentive os outros países a agir em conformidade (Ministry of the interior and housing, 2021). A Figura 4 apresenta a introdução gradual dos requisitos em matéria de CO<sub>2</sub> em nova construção.

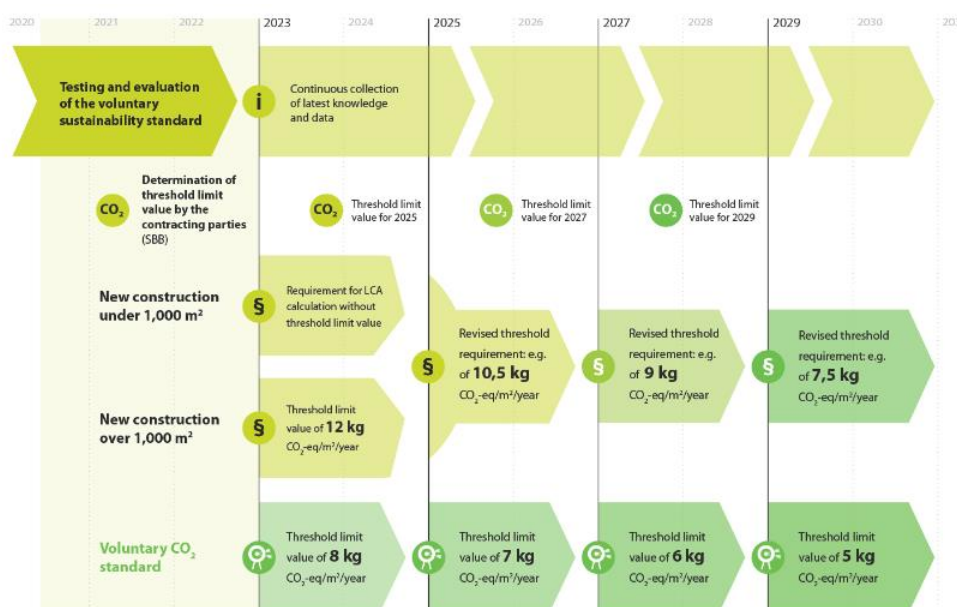


Figura 4 - Introdução gradual e aumento dos requisitos em matéria de CO<sub>2</sub> (Ministry of the interior and housing, 2021)

## 2.6 Soluções para reduzir a pegada de carbono do setor

Neste contexto, é pertinente conhecer quais as soluções que existem e são capazes, atualmente, de fazer face ao elevado volume de emissões deste setor em estudo. Este capítulo tem como principal objetivo fazer uma breve descrição de algumas medidas, prontas a aplicar no setor da construção de edifícios, e que dispõem de um elevado potencial para reduzir o problema em questão.

Algumas medidas sugeridas adiante assentam, essencialmente, sobre uma perspetiva de economia circular. A literatura consultada ao longo desta dissertação permitiu perceber como existe um número crescente de soluções que visam atuar sobre a eficiência energética de edifícios. No entanto, este parâmetro está muito associado à fase de operação, sendo que o pretendido nesta dissertação é agir sobre a fase de construção. Adotar soluções baseadas nos princípios da economia circular permite, dentro de outras particularidades, reduzir a pegada de carbono originada pela fase da construção e da sua cadeia de valor.

### 2.6.1 Reutilização e reciclagem de materiais primários e secundários

A reutilização e reciclagem de materiais, como o cimento por exemplo, é vista como uma solução para a redução do carbono emitido na cadeia de valor da construção de edifícios. Esta prática requer energia na fase de demolição dos edifícios, no transporte dos resíduos para serem reproduzidos e na sua posterior reutilização na construção. No entanto, evita o recurso a novas matérias-primas e requer pouca energia para o reprocessamento dos materiais já existentes (De Wolf, 2018). Tal permite que haja uma diminuição considerável no consumo de energia na fase de produção, diminuindo, assim, as elevadas emissões de carbono associadas à mesma. Segundo Kumari *et al.* (2022), a reciclagem de materiais de construção de edifícios apresenta um potencial de redução de 53% das emissões incorporadas. Já a reutilização de materiais de construção tem um potencial de redução das emissões incorporadas de 6,2% (Kumari *et al.*, 2022). A reutilização de materiais de construção secundários, originados no processo de produção dos materiais primários, também oferecem um potencial significativo de redução das emissões de carbono. Nußholz *et al.* (2019), comparou a alteração nas emissões ao reutilizar materiais secundários para a construção, com foco nos tijolos e agregados de betão. Segundo o estudo, denotaram-se algumas diferenças nas emissões. A reutilização dos materiais secundários no processamento dos tijolos, reduz as emissões de carbono em 1% (Nußholz *et al.*, 2019). Comparativamente, a reutilização dos materiais secundários originados

na produção de agregados de betão reduz as emissões de carbono entre 30 e 50% Nußholz *et al.*, 2019).

## 2.6.2 Renovação de edifícios

A renovação de edifícios é, cada vez mais, uma solução considerada para diminuir as emissões de carbono do setor. A construção de edifícios novos exige um maior número de materiais, o que implica um aumento da extração de matérias-primas e produção. Em vários casos, construção dos edifícios novos pode, também, necessitar de mais energia. Além disso, a renovação de edifícios não contempla a fase de demolição, eliminando as emissões associadas à mesma. Schwartz *et al.* (2018) analisou diversos casos de estudo, a fim de comparar as emissões de carbono resultantes da construção de novos edifícios com a renovação de edifícios existentes. Os seus resultados mostraram como os edifícios renovados acabavam por ter um melhor desempenho que os novos, com uma pegada de carbono média, ao longo da cadeia de valor, de 2 250 (renovados) para 3 500 (novos) kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/50 anos. Zimmermann *et al.* (2023), conduziu um estudo semelhante em edifícios na Suécia, Dinamarca e Finlândia. Os resultados mostram como, nos três países, a pegada de carbono de edifícios renovados é inferior à pegada de edifícios construídos de raiz (Zimmermann, *et al.*, 2023).

O acordo ecológico da UE, que pretende reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 55% até 2030 e assegurar a neutralidade carbónica até 2050, inclui uma elevada "vaga de renovação" de edifícios, objetivando renovar 35 milhões de edifícios existentes, até 2030 (Wandahl, et al., 2021). Os edifícios energeticamente ineficientes são o foco desta renovação. Este esforço é essencial para reduzir as emissões, uma vez que se prevê que 85-95% dos atuais edifícios da UE ainda estejam de pé em 2050 (Wandahl, et al., 2021).

## 2.6.3 Materiais de construção alternativos

Grande parte das emissões de carbono do setor em estudo provém da energia consumida na fase de produção, especialmente no processamento de um material em específico: o cimento. Como foi verificado nos resultados desta dissertação, este material é responsável por mais de metade das emissões verificadas na produção, pelo que faz sentido procurar alternativas mais baixas em carbono. Uma delas é denominada por "rammed earth", cuja tradução literal significa "terra batida". Este material é consiste na simples compactação de uma mistura de agregados selecionados, incluindo cascalho, areia, silte e argila, formando paredes (Alkadri & Çetin, 2021). "Rammed Earth" pode ser utilizado em vários tipos de construção, apresenta elevada

durabilidade e não necessita de armações estruturais. A pertinência deste material para o setor em estudo, deve-se ao facto da mesma apresentar uma baixa energia incorporada, o que leva a uma redução das emissões de carbono, comparativamente ao cimento ou tijolos (Alkadri & Çetin, 2021). Uma característica negativa deste material é o seu isolamento limitado, sendo necessário, por vezes, aplicar um isolamento ao material (Alkadri & Çetin, 2021).

A madeira é outro material baixo em carbono e com boas propriedades para construção. É utilizada desde o início da civilização, estando ainda muito presente nos tempos atuais. A madeira CLT (*Cross Laminated Timber*) é das variações mais recentes deste material. Os painéis CLT consistem em placas de madeira em camadas (entre três a sete) empilhadas transversalmente (Guo, *et al.*, 2017). Esta característica promove uma maior integridade estrutural e confere uma maior durabilidade (Guo, *et al.*, 2017). Estes painéis são aplicados em pavimentos, paredes e coberturas (Guo, *et al.*, 2017). Andersen *et al.* (2022) estudou o impacto do cimento e dos painéis CLT, a nível de emissões de carbono, na construção de edifícios, comparando-os posteriormente. Os resultados do estudo mostram como as emissões de CO<sub>2</sub> incorporadas nos painéis de CLT são metade das emissões incorporadas no cimento, comprovando como os países em questão são uma solução viável (Andersen *et al.*, 2022).

“Hempcrete”, ou “betão de cânhamo” na tradução literal, é outro material que permite a substituição do cimento. O “betão de cânhamo” é um material compósito feito de fibras de cânhamo e cal. É leve, isolante e tem boas propriedades de massa térmica (Jami & Rawtani, 2016). É um material resistente, apresenta uma alta durabilidade e permite uma boa regulação da temperatura dentro de habitações (Jami, 2017). Este betão é também um material de carbono negativo, uma vez que o crescimento do cânhamo absorve mais carbono do que aquele que é emitido durante a produção (Jami & Rawtani, 2016). Segundo Jami (2017), o “betão de cânhamo” pode sequestrar até 470 kg de CO<sub>2</sub>, por m<sup>3</sup> construído.

#### 2.6.4 Ecodesign

“Ecodesign” pode ser definido como “uma abordagem sistemática que considera os aspetos ambientais na conceção e no desenvolvimento, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais adversos ao longo do ciclo de vida de um produto” (ISO, 2020). Sendo que, neste contexto, o edifício é o produto, o ecodesign permite, entre outras propriedades, diminuir a pegada de carbono incorporada no setor da construção de edifícios. Para auxiliar este processo, recorre-se cada vez mais ao BIM (*Building Information Modelling*). Esta ferramenta é muito útil para a visualização 3D de edifícios, análise do desempenho de edifícios, estimativa de custos,

gestão de instalações e, também, em análises de ciclos de vida dos edifícios (Akanbi, *et al.*, 2018).

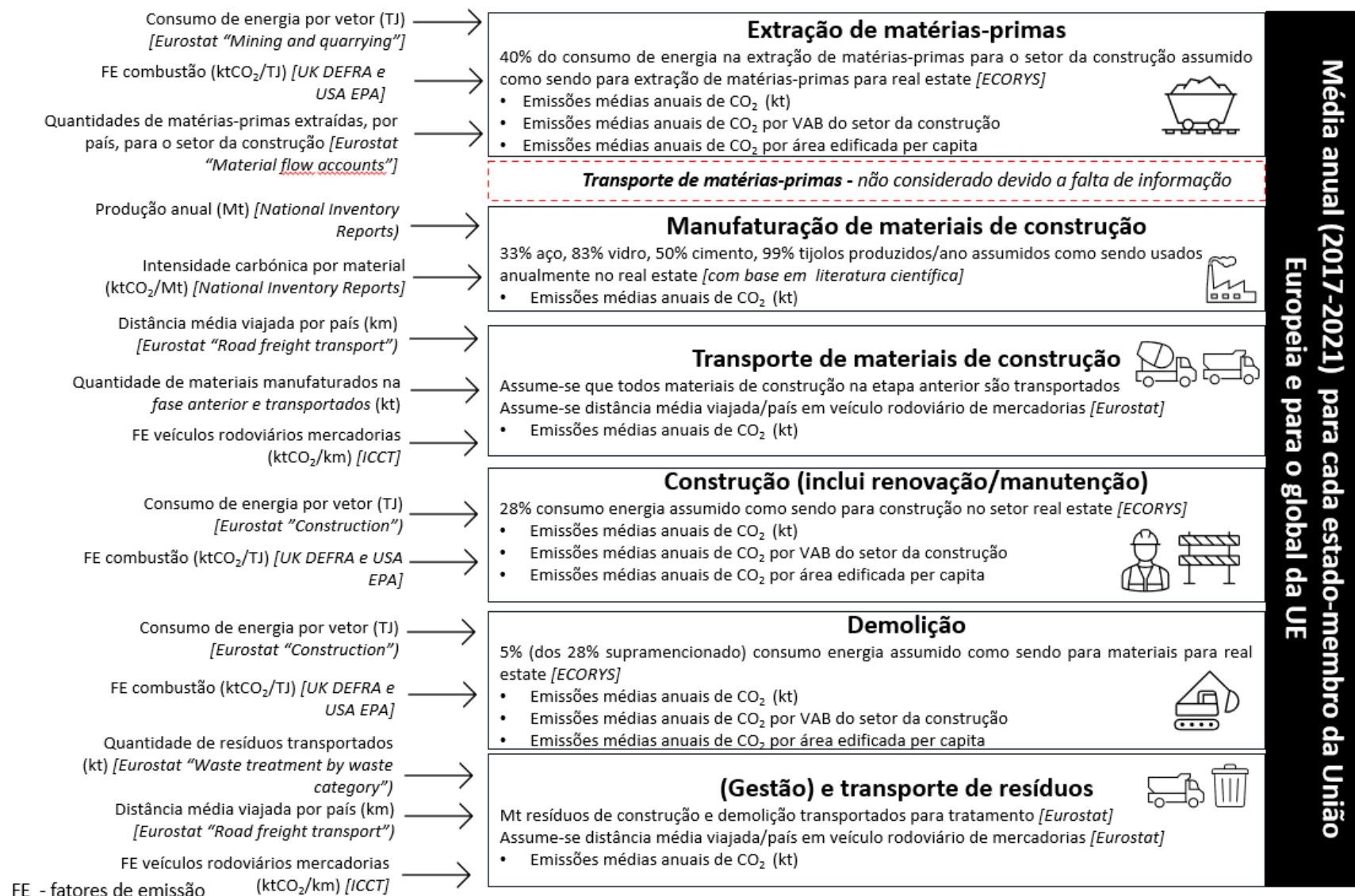
Sipahi (2021) realizou um estudo onde foram moduladas 7 habitações, cada uma com um design diferente, mas com uma área semelhante (entre os 37 e 46 m<sup>2</sup>). O objetivo do estudo foi compreender a pegada de carbono associada à fase de produção, transporte e construção de cada habitação e, posteriormente, aplicar estratégias de ecodesign e analisar se ocorre, de facto, uma redução da pegada (Sipahi, 2021). Ora, os resultados demonstraram uma diminuição notória na pegada de carbono em todas as habitações, existindo casos que denotam reduções de 80% (Sipahi, 2021). Este estudo comprova como o ecodesign, auxiliado por tecnologias de modulação de edifícios, permite, não só estimar o impacto da construção de edifícios em fases muito iniciais do processo, como também agir em conformidade das mesmas.

## METODOLOGIA

Esta dissertação tem como principal objetivo quantificar a pegada de carbono anual do setor da construção de edifícios na UE, anualmente e para cada estado-membro. O setor da construção de edifícios é visto, na presente dissertação, como a construção/renovação de edifícios. Nesta dissertação não se desagregam os diferentes tipos de edifícios, por exemplo, residenciais e comerciais. A energia utilizada, os materiais produzidos e as emissões de CO<sub>2</sub> determinadas, estão estimadas para a construção destes edifícios como um todo, não se tendo distinguido por tipologia de edifícios. O período temporal para estimativa de valores médios anuais considerado foi de 2017 a 2021. O tratamento de dados considerou apenas as atividades realizadas dentro das fronteiras dos estados-membros da UE. Ou seja, não foram consideradas as importações e/ou exportações de matérias-primas e materiais de construção. Desta forma, com esta abordagem é possível identificar qual a porção da pegada de carbono gerada “diretamente” dentro do território da UE.

### 3.1 Abordagem metodológica global

A abordagem metodológica desenvolvida é apresentada de forma sistemática na Figura 5.



Média anual (2017-2021) para cada estado-membro da União Europeia e para o global da UE

Figura 5 - Abordagem metodológica

Pela figura, compreende-se que a metodologia utilizada nesta dissertação concentra-se em 6 fases da cadeia de valor do setor da construção de edifícios: extração de matérias-primas, produção de materiais de construção, transporte de materiais de construção, construção (que inclui renovação e manutenção de edifícios), demolição e transporte e gestão de resíduos. Para cada uma destas fases foram calculadas as emissões médias anuais de carbono, com recurso a dados relativos a consumos de energia, quantidades de materiais produzidos e distâncias médias viajadas por veículos de mercadorias, considerando os fatores de emissão associados. As emissões médias anuais calculadas referem-se, apenas, a emissões de CO<sub>2</sub>, não se tendo calculado as emissões de outros GEE. Por isso, sempre que se menciona "carbono", refere-se sempre a CO<sub>2</sub>. Esta dissertação desenvolveu uma metodologia nova, focada em cada fase da cadeia de valor, que vai ser detalhada nesta secção.

Além da informação inerente a cada fase da cadeia de valor e apresentada nas secções seguintes, foi ainda considerado um conjunto de informação transversal ao setor da construção em cada estado-membro, nomeadamente:

- Valor acrescentado bruto (VAB) no setor da construção (em mil milhões de euros);
- Área ocupada por edifícios, per capita.

Esta informação foi utilizada para calcular indicadores que permitam comparar os diversos estados-membros entre si, nomeadamente as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por valor acrescentado bruto do setor da construção e emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por área edificada, per capita.

Utilizou-se a base de dados do Eurostat "Valor acrescentado bruto e rendimento por desagregações por indústria A\*10" (Eurostat, 2023), tendo-se, de seguida, convertido os valores de "milhões" para "mil milhões de euros" e organizados

Tabela 2 – VAB médio anual do setor da construção em mil milhões de euros

País	Valor acrescentado bruto no setor da construção (em mil milhões de euros)
Alemanha	157,50
Áustria	23,45
Bélgica	22,17
Bulgária	2,24
Chipre	1,16
Croácia	2,38
Dinamarca	15,00
Eslováquia	5,91

País	Valor acrescentado bruto no setor da construção (em mil milhões de euros)
Eslovénia	2,43
Espanha	64,02
Estónia	1,62
Finlândia	15,13
França	118,15
Grécia	2,57
Hungria	6,45
Irlanda	8,24
Itália	69,76
Letónia	1,60
Lituânia	3,09
Luxemburgo	3,25
Malta	0,54
Países Baixos	35,37
Polónia	33,59
Portugal	7,93
República Checa	10,97
Roménia	13,20
Suécia	28,87

Fonte: “Valor acrescentado bruto e rendimento por desagregações por indústria A\*10” (Eurostat, 2023)

A área edificada, per capita foi obtida na base de dados “Entranze – Área útil média *per capita*” (European Union, 2023). Os dados recolhidos são de 2008, visto não ter sido possível adquirir dados de anos mais recentes (Tabela 3)

Tabela 3 – Área ocupada por edifícios, per capita (m<sup>2</sup>/capita)

País	Área ocupada por edifícios, per capita (m <sup>2</sup> /capita)
Alemanha	53
Áustria	55
Bélgica	45
Bulgária	34
Chipre	59
Croácia	33
Dinamarca	77
Eslováquia	32
Eslovénia	43
Espanha	42
Estónia	37
Finlândia	56
França	53
Grécia	41
Hungria	40

País	Área ocupada por edifícios, per capita (m <sup>2</sup> /capita)
Irlanda	52
Itália	50
Letónia	36
Lituânia	40
Luxemburgo	44
Malta	43
Países Baixos	56
Polónia	35
Portugal	48
República Checa	38
Roménia	24
Suécia	58

Fonte: "Entranze – Área útil média per capita" (European Union, 2023)

## 3.2 Extração de matérias-primas

No cálculo das emissões de carbono associadas à extração de matérias-primas, recorreram-se, entre outros, às bases de dados do Eurostat<sup>3</sup>, mais especificamente: dados anuais de consumo de energia disponibilizados na categoria "Consumo final desagregado de energia na indústria" e "Dados das contas de fluxos de materiais".

Nesta fase, não foram consideradas importações ou exportações de matérias-primas, tendo-se cingido, apenas, à extração realizada por cada país. O período temporal considerado foi de 2017 a 2021, tendo-se trabalhado com a média destes 5 anos. Na extração considerou-se o consumo de energia para extração de minerais metálicos e outra extração.

A primeira das bases de dados supramencionada fornece dados relativos à energia consumida em todos os processos de extração na UE. No entanto, não permite aferir qual a quantidade de energia utilizada na extração de matérias-primas para a construção, nem, consequentemente, para a construção de apenas edifícios. Como tal, recorreu-se à base de dados "Dados das contas de fluxos de materiais", do Eurostat, para definir a percentagem de matérias-primas extraídas para o setor da construção. Os dados desta segunda base de dados foram analisados somente para o ano de 2021, visto não haver informação relativa a outros anos. Nesta base dados, recolheu-se a seguinte informação:

<sup>3</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_D\\_INDQ\\_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_d](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_INDQ_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_d)

<sup>4</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AC\\_MFA/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_MFA/default/table?lang=en)

a) Extração total de minérios metálicos (minérios brutos) e de minério de ferro, por país da UE (em kt);

b) Extração total de minerais não metálicos e de cada um dos seguintes minerais: "Giz e dolomite", "Calcário e gesso", "Argilas e caulino", "Areia e gravilha" (em kt).

De seguida, estimou-se a percentagem de matérias-primas relevantes para a construção em relação ao total de materiais extraídos por cada país da UE, tanto para a) como para b), com base em literatura e documentos oficiais da UE sistematizados na Tabela 4. Assumiu-se que a intensidade energética da extração é idêntica para todos os materiais extraídos e, portanto, proporcional às quantidades extraídas. Adicionalmente, definiu-se que a percentagem de cada grupo de materiais potencialmente extraídos para construção (metais e outros) é efetivamente utilizada para construção nesse mesmo ano e assume-se o mesmo valor para cada país da UE.

Tabela 4 - Matérias-primas extraídas para a cadeia de valor da construção de edifícios

Matérias de extração agregadas	Matérias extraídas	Material de construção considerado	Percentagem de volumes anuais extraídos a utilizar no sector da construção	Referência
Minérios metálicos	Minério de ferro	Aço	50%	(European Commission, 2018)
Outras indústrias extrativas	Giz e dolomite	Cimento	31%	(European Commission, 2023)
	Calcário e gesso	Cimento, aço, vidro	31%	(European Commission, 2023)
	Argilas e caulino	Tijolos e telhas	53%	(The European Ceramic Industry Association, 2023)
	Areia e cascalho	Vidro, cimento	70%	(United Nations Environment Programme, 2022)

### 3.2.1 Consumo de energia e fatores de emissão

Consideraram-se os seguintes vetores energéticos para cada país no Eurostat, distinguindo-se entre: combustíveis fósseis sólidos, gás, petróleo e outros produtos petrolíferos, energias renováveis e biocombustíveis e eletricidade da rede nacional.

Combustíveis fósseis consistem em fontes de energia não renováveis, como o carvão, produtos derivados do carvão, gás natural, gás derivado, petróleo bruto, produtos petrolíferos e

resíduos não renováveis. Estes combustíveis têm origem em plantas e animais que existiram no passado geológico, mas também podem ser produzidos por processos industriais com recurso a outros combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis dispõem de carbono, na sua constituição, que é depois libertado na combustão. (Eurostat, 2019)

Foram considerados os seguintes combustíveis fósseis:

- Combustíveis fósseis sólidos
  - Antracite
  - Carvão de coque
  - Outra hulha betuminosa
  - Hulha sub-betuminosa
  - Lignite
  - Coque de forno de coque
  - Alcatrão de hulha
  - Briquetes de lenhite
- Petróleo e produtos petrolíferos (excluindo biocombustíveis)
  - Líquidos de gás natural
  - Gases de petróleo liquefeitos
  - Nafta
  - Gasolina para motores
  - Combustível para motores de reação do tipo querosene
  - Outro querosene
  - Gasóleo e óleo diesel
  - Fuelóleo
  - Outros produtos petrolíferos
  - Coque de petróleo
- Gás natural

As fontes de energia renováveis são fontes de energia que se reabastecem (ou renovam) naturalmente, como a energia solar, a energia eólica e a biomassa. Este tipo de energia está associado a emissões de carbono nulas (Eurostat, 2021). As fontes de energia renováveis consideradas foram as seguintes:

- Energias renováveis não combustíveis:
  - Energia geotérmica
  - Energia solar
  - Energia proveniente de bombas de calor
- Energias renováveis combustíveis
  - Biocombustíveis: combustíveis provenientes da biomassa; inclui biocombustíveis sólidos, biogás e biocombustíveis líquidos (biodiesel)
  - Resíduos urbanos renováveis

Por último, considerou-se ainda a energia elétrica proveniente da rede elétrica de cada país.

A energia total consumida na extração de matérias-primas, por país da UE, foi determinada através da soma dos valores de energia consumida por grupo de matérias-primas extraídas. Para tal, utilizaram-se as seguintes bases de dados do Eurostat:

- **“Extração de minérios metálicos, com exceção da extração de minérios de urânio e de tório”** – onde estão detalhadas as quantidades e fontes de energia envolvidas na **extração de metais, como o ferro para o aço**. Esta base de dados engloba também outros minerais metálicos extraídos na UE como o crómio, cobre, chumbo, prata e zinco, mas que não são usados na construção;
- **“Outras indústrias extrativas, exceto extração de turfa”** – onde estão detalhadas as quantidades e fontes de energia envolvidas na **extração de areia, calcário para a produção de cimento e argila/caulinos para a cerâmica**;
- **“Atividades dos serviços de apoio às indústrias extrativas”** onde estão detalhadas as quantidades de energia consumidas nas atividades realizadas por empresas que apoiam na extração, mas não realizam a extração.

Para cada uma das três bases de dados supramencionadas, considerou-se o período temporal de 2017 a 2021, tendo-se feito a média destes 5 anos para os vetores energéticos referidos no início desta seção.

Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> quantificam as emissões de dióxido de carbono associadas a uma atividade ou processo (International Energy Agency, 2022). Assim, foram considerados os fatores de emissão das duas fontes seguintes, ambas bastante robustas: “Factores de emissão para inventários de gases com efeito de estufa”, desenvolvido e publicado pela EPA (Environmental Protection Agency) (U.S Environmental Protection Agency, 2021), e “Factores de conversão de GEE do governo do Reino Unido para relatórios de empresas”, desenvolvido e produzido pelo DEFRA (Department for Environmental Food and Rural Affairs) (Department for Environment Food and Rural Affairs, 2022). Apesar de haver ligeiras diferenças nos fatores de emissão para combustíveis provenientes de diferentes países) devido a diferenças no teor de carbono, não foi possível, no tempo disponível, compilar fatores de emissão por país, por exemplo recorrendo aos inventários nacionais de emissões.

Tabela 5 - Fatores de emissão (kgCO<sub>2</sub>/TJ) considerados por cada vetor energético

Energia	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
<b>Combustíveis fósseis sólidos</b>	
Antracite	98 279,16
Carvão de coque	104 672,22
Outra hulha betuminosa	88 412,38
Hulha sub-betuminosa	92 099,39

Energia	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
Lignite	92 620,69
Coque de forno de coque	104 672,22
Briquetes de lenhite	92 620,69
Alcatrão de hulha	100 000,00
Gases produzidos	
Gás de coqueria	Não considerado
Gás de fábrica	Não considerado
Gás de alto-forno	Não considerado
Outros gases recuperados	Não considerado
Turfa	Não considerado
Produtos de turfa	Não considerado
Xisto betuminoso e areias betuminosas	Não considerado
Gás	
Gás natural	56 186,11
Petróleo e produtos petrolíferos	
Líquidos de gás natural	56 519,44
Gás de refinaria	Não considerado
Gases de petróleo liquefeitos	58 489,79
Nafta	69 152,78
Gasolina para motores	66 555,72
Combustível para motores de reação do tipo querosene	68 451,35
Outro querosene	71 275,85
Gasóleo e óleo diesel	74 938,89
Fuelóleo	79 238,89
Outros produtos petrolíferos	72 242,62
White spirit e aguardentes industriais de ponto de ebulição especial	Não considerado
Coque de petróleo	99 694,44
Energias renováveis e biocombustíveis	
Geotérmica	-
Solar térmico	-
Calor ambiente (bombas de calor)	-
Biocombustíveis sólidos primários	2 925,00
Carvão vegetal	91 986,11
Biocombustíveis líquidos	5 059,61
Biodieseis	5 059,61
Biogases	61,11
Resíduos industriais (não renováveis)	Não considerado
Resíduos urbanos renováveis	Não considerado
Resíduos urbanos não renováveis	Não considerado

<b>Energia</b>	<b>Fator de emissão (kgCO<sub>2</sub>/TJ)</b>
<b>Resíduos não renováveis</b>	<b>Não considerado</b>

Como pode ser verificado na Tabela 5, não foram considerados fatores de emissão para todos os diferentes tipos de vetores energéticos nas bases de dados do Eurostat, nomeadamente os “Gases produzidos”. No processo de extração de matérias-primas, não se utilizam gases como o gás de alto-forno ou o gás de coqueria. Adicionalmente, e pela mesma razão, não se consideraram as emissões associadas a “Gases de refinaria”, “White spirit e aguardentes industriais de ponto de ebulição especial” e “Resíduos”.

Para considerar as emissões associadas à produção e consumo de eletricidade da rede elétrica de cada país recorreu-se à base de dados da organização sem fins lucrativos “EMBER” (Ember, 2023) e considerou-se a intensidade carbónica da eletricidade, por país da UE. Os valores de intensidade carbónica recolhidos e utilizados no cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> são referentes apenas ao ano de 2021, não tendo sido possível encontrar dados fidedignos de anos anteriores. Os dados foram compilados na Tabela 6.

Tabela 6 - Intensidade de carbono do sector de energia na Europa (kgCO<sub>2</sub>/TJ)

<b>País</b>	<b>Intensidade de carbono da eletricidade na Europa (kgCO<sub>2</sub>/TJ)</b>
<b>Alemanha</b>	101 389,00
<b>Áustria</b>	40 833,00
<b>Bélgica</b>	43 333,00
<b>Bulgária</b>	98 333,00
<b>Chipre</b>	166 389,00
<b>Croácia</b>	58 333,00
<b>Dinamarca</b>	61 389,00
<b>Eslováquia</b>	46 944,00
<b>Eslovénia</b>	66 111,00
<b>Estónia</b>	133 611,00
<b>Finlândia</b>	40 278,00
<b>França</b>	18 611,00
<b>Grécia</b>	98 056,00
<b>Hungria</b>	64 722,00
<b>Irlanda</b>	100 833,00
<b>Itália</b>	94 444,00
<b>Letónia</b>	61 944,00
<b>Lituânia</b>	67 778,00
<b>Luxemburgo</b>	51 944,00
<b>Malta</b>	122 500,00
<b>Países Baixos</b>	107 778,00
<b>Polónia</b>	183 333,00

País	Intensidade de carbono da eletricidade na Europa (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
Portugal	60 833,00
República Checa	112 500,00
Roménia	70 833,00
Suécia	12 500,00

### 3.2.2 Tratamento dos dados

A energia total consumida na extração de matérias-primas, por país da União Europeia, foi determinada através da soma dos valores de energia consumida por grupos de matéria-prima extraída referidos na secção 3.2.1 (minérios metálicos, outras indústrias extrativas e ainda atividades dos serviços de apoio à indústria extrativa).

Existem casos de países que não apresentavam dados para certos anos, pelo que a média foi realizada apenas com os anos que apresentavam, valores. Os anos com falta de informação foram excluídos do cálculo da média. Posteriormente, somou-se as energias médias de cada base de dados, para cada país, obtendo-se a energia média total consumida anualmente por país da UE. Discriminou-se, ainda, a energia consumida por tipo de fonte de energia: combustíveis fósseis sólidos; gás; petróleo e produtos petrolíferos; energias renováveis e biocombustíveis; eletricidade.

No caso de Espanha e Irlanda, não estavam reportados valores nas bases de dados acima referidas, pelo que não foi possível discriminar a energia consumida por grupo de matérias-primas. Para estes dois casos, considerou-se apenas a energia total média e anual. Por isso, foi necessário utilizar as seguintes fontes alternativas:

- **Irlanda:** A base de dados "Indústrias extrativas e atividades dos serviços de apoio às indústrias extrativas, exceto as relacionadas com produtos energéticos (minérios de urânio e de tório, turfa, petróleo e gás natural)" para a quantidade de energia média anual consumida na extração de todas as matérias-primas, por vetor energético.
- **Espanha:** A base de dados "BALANCE ENERGÉTICO DE ESPAÑA: 1991-2021" (Gobierno de Españã, 2023) para a quantidade de energia média anual consumida na extração de todas as matérias-primas, por vetor energético.

As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de energia na extração de materiais, para cada país e para cada ano, foram calculadas utilizando a seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 & \text{Emissões médias anuais de CO}_2 \text{ (kg)} \\
 & = \sum \text{Energia produzida pela fonte } x \text{ (Terajoule)} \\
 & \quad * \text{ Fator de emissão da fonte } x \left( \frac{\text{kgCO}_2}{\text{Terajoule}} \right)
 \end{aligned}$$

Em que:

-  $x$  representa o vetor energético

Após converter os valores para toneladas de carbono, calculou-se a média das emissões de todos os anos em estudo, para cada país. Estas emissões reportam-se a toda a energia consumida para a totalidade da atividade de mineração de minerais metálicos e outra indústria extrativa. No entanto, nesta dissertação apenas se pretende considerar a extração de matérias-primas relevantes para o setor da construção de edifícios. Desse modo, e uma vez que não existe informação detalhada sobre as quantidades de matérias-primas extraídas na UE e usadas na cadeia de valor da construção de edifícios, utilizou-se uma abordagem simplificada em que se considerou apenas uma fração do consumo de energia no setor, idêntico para todos os estados-membros. Segundo Ecorys (2016), 40% do VAB do setor da construção é destinado à construção de edifícios. Assim, tendo em conta as quantidades de matérias-primas extraídas por cada país, as percentagens de materiais utilizados para o sector da construção (na Tabela 5) e o pressuposto supramencionado, conseguiu-se estimar qual a percentagem de energia consumida por cada país na fase de extração, para o setor em estudo, e, conseqüentemente, o respetivo CO<sub>2</sub> emitido. O pressuposto de que 40% da energia consumida na extração de matérias-primas para o setor da construção está associada à construção de edifícios tem uma grande incerteza, como detalhada mais adiante nesta dissertação. As percentagens de energia consumida para o setor da construção de edifícios, por matérias-primas extraídas, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Percentagem de energia utilizada, por país, na extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios

País	Energia utilizada na extração de minérios metálicos para o setor da construção de edifícios	Energia utilizada na extração de minérios não-metálicos para o setor da construção de edifícios	Energia utilizada em atividades e serviços de apoio às indústrias extrativas para o setor da construção de edifícios
Bélgica	0%	19%	9%
Bulgária	0%	21%	11%
República Checa	0%	5%	2%
Dinamarca	0%	26%	13%
Alemanha	20%	25%	22%
Estónia	0%	24%	12%
Irlanda	0%	19%	10%
Grécia	0%	20%	10%
Espanha	0%	12%	6%

País	Energia utilizada na extração de minérios metálicos para o setor da construção de edifícios	Energia utilizada na extração de minérios não-metálicos para o setor da construção de edifícios	Energia utilizada em atividades e serviços de apoio às indústrias extrativas para o setor da construção de edifícios
França	1%	26%	14%
Croácia	0%	24%	12%
Itália	1%	18%	10%
Chipre	0%	24%	12%
Letónia	0%	21%	10%
Lituânia	0%	23%	12%
Luxemburgo	0%	28%	14%
Hungria	0%	13%	7%
Malta	0%	23%	12%
Países Baixos	0%	24%	12%
Áustria	18%	15%	16%
Polónia	0%	14%	7%
Portugal	0%	21%	11%
Roménia	0%	11%	5%
Eslovénia	0%	25%	12%
Eslováquia	0%	21%	10%
Finlândia	0%	22%	11%
Suécia	9%	26%	18%

Com vista a calcular as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por VAB do setor da construção e por área edificada per capita, utilizaram-se as seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 & \text{Emissões médias anuais de CO}_2 \text{ por VAB do setor da construção (kt CO}_2 \\
 & \text{/mil milhões de euros)} \\
 & = \frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ (ktCO}_2\text{)}}{\text{VAB no setor da construção (mil milhões de euros)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Emissões médias anuais de CO}_2 \text{ por área edificada, per capita} \left( \frac{\text{ktCO}_2}{\frac{\text{m}^2}{\text{cap}}} \right) = \\
 & \frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ (ktCO}_2\text{)}}{\text{Área edificada, per capita} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{cap}} \right)}
 \end{aligned}$$

### 3.3 Produção de materiais de construção

Na fase de produção de materiais de construção para o setor da construção de edifícios (aço, betão, vidro e tijolos cerâmicos), recorreu-se a informação constante nos Inventários Nacionais de Emissões por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos, no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC) de 2021 (UNFCCC, 2023). Estes inventários disponibilizam os relatórios preparados por cada país, onde apresentam, entre outros, as quantidades de materiais de construção produzidos anualmente, os seus fatores de emissão e, ainda, as emissões de combustão e de processo (quando aplicáveis) associadas à produção de cada material (na forma de intensidades carbónicas). As quantidades de materiais produzidos, os seus fatores de emissão e as emissões de carbono associadas recolhidas, dizem respeito ao ano de 2019. Foram consultados os inventários também para os anos de 2017 e 2018 tendo-se verificado que os valores reportados são, quase na totalidade, iguais de ano para ano. Até à data de julho de 2023, não existia informação para os anos de 2020 e 2021.

Na Tabela 8 apresentam-se as quantidades de materiais de construção produzidos em cada país da UE, em quilotoneladas (kt), extraído dos inventários nacionais de 2021, para cada país. Verifica-se a falta de informação para alguns países, sendo que, para os que não apresentam dados de produção de um determinado material, é reportado "N" ou "C", que significa que não ocorreu produção desse material ou que os dados são confidenciais, respetivamente. No caso de Malta, não foram encontrados quaisquer dados. Finalmente, na coluna de "Tijolos, telhas e ladrilhos", certos valores encontram-se a vermelho para alguns países. Este destaque indica que, nos inventários nacionais destes países, os dados fornecidos não correspondiam às quantidades produzidas do material de construção em questão, mas sim ao consumo de carbonatos utilizados na produção dos mesmos. Ou seja, não havia dados de produção do material de construção. Como tal, recorrendo-se aos dados de produção dos países que apresentavam, de facto, valores de produção e calculou-se o valor médio de produção de tijolos, telhas e ladrilhos (kt) da UE que se considerou para estes países.

Tabela 8 - Produção anual de materiais de construção

País	Cimento (kt)	Vidro (kt)	Aço (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos (kt)
Alemanha	25 069,13	7 377,61	39 627,35	12 034,16
Áustria	3 422,87	525,62	12 622,71	1 976,52

País	Cimento (kt)	Vidro (kt)	Aço (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos (kt)
Bélgica	5 037,84	1 399,07	17 980,65	2 504,05
Bulgária	2 127,51	612,27	579,83	745,44
Chipre	1 508,83	N	N	224,80
Croácia	2 272,42	68,33	69,13	3 095,91
Dinamarca	2 146,32	202,62	N	3 095,91
Eslováquia	2 854,64	42,98	3 608,95	3 095,91
Eslovénia	927,77	99,18	639,40	3 095,91
Espanha	17 511,05	4 765,00	13 642,17	13 702,56
Estónia	503,62	86,68	N	35,02
Finlândia	1 142,14	5,04	3 443,55	3 095,91
França	13 005,22	3 365,41	14 526,92	4 926,82
Grécia	6 429,11	118,08	1 349,87	3 095,91
Hungria	C	365,38	1 769,00	1 821,78
Irlanda	3 462,49	N	N	3 095,91
Itália	15 119,33	6 033,06	23 191,00	3 095,91
Letónia	1 091,08	C	N	141,61
Lituânia	1 074,45	52,36	C	45,06
Luxemburgo	802,49	403,43	2 103,58	N
Malta	N	N	N	N
Países Baixos	12,56	1 540,54	6 857,40	2 585,06
Polónia	14 178,00	3 489,68	C	2 396,00
Portugal	4 272,08	1 787,51	2 032,85	3 072,00
República Checa	2 127,51	612,27	579,83	1 787,40
Roménia	7 298,95	358,70	3 617,29	1 536,28
Suécia	2 539,23	NE	1 845,70	3 095,91

Na Tabela 9, encontram-se os valores de intensidade carbónica, por estado-membro, de cada material de construção produzido. À semelhança da tabela anterior, existem alguns países que não apresentam valores para um dado material, por não o produzirem. No caso dos países com informação confidencial, foi adotada a média da UE para o respetivo material.

Tabela 9 - Intensidade carbónica da produção dos materiais de construção

País	Cimento (kt CO <sub>2</sub> /kt Cimento)	Vidro (kt CO <sub>2</sub> /kt Vidro)	Aço (kt CO <sub>2</sub> /kt Aço)	Tijolos, telhas e ladrilhos (kt CO <sub>2</sub> /kt Tijolos, telhas e ladrilhos)
Alemanha	0,53	0,12	0,46	0,05
Áustria	0,52	0,08	1,49	0,05
Bélgica	0,56	0,10	0,50	0,07
Bulgária	0,53	0,12	0,05	0,10

País	Cimento (kt CO <sub>2</sub> /kt Cimento)	Vidro (kt CO <sub>2</sub> /kt Vidro)	Aço (kt CO <sub>2</sub> /kt Aço)	Tijolos, telhas e ladrilhos (kt CO <sub>2</sub> /kt Tijolos, telhas e ladrilhos)
Chipre	0,52	-	-	0,09
Croácia	0,52	0,43	0,07	0,06
Dinamarca	0,53	0,05	-	0,06
Eslováquia	0,49	0,42	0,98	0,06
Eslovénia	0,51	0,14	0,09	0,06
Espanha	0,52	0,10	0,05	0,03
Estónia	0,59	0,12	-	0,02
Finlândia	0,51	0,40	0,54	0,06
França	0,52	0,16	0,79	0,04
Grécia	0,52	0,14	0,06	0,06
Hungria	0,53	0,14	0,10	0,06
Irlanda	0,55	-	-	0,03
Itália	0,52	0,10	0,04	0,06
Letónia	0,51	0,12	-	0,06
Lituânia	0,54	0,15	-	0,05
Luxemburgo	0,49	0,16	0,05	-
Malta	-	-	-	-
Países Baixos	0,50	0,04	0,00	0,05
Polónia	0,54	0,16	IE	0,05
Portugal	0,52	0,09	0,04	0,03
República Checa	0,53	0,12	0,05	0,06
Roménia	0,52	0,12	1,06	0,06
Suécia	0,53	-	0,46	0,06
EU 27	0,53	0,12	0,46	0,06

Na Tabela 10 estão detalhadas as emissões de CO<sub>2</sub> originadas pela produção dos respetivos materiais de construção, por país da União Europeia. Estes valores foram, também, retirados dos inventários nacionais, sendo que o seu cálculo consistiu na multiplicação da intensidade carbónica pela respetiva quantidade produzida.

Tabela 10 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> originadas pela produção dos materiais de construção

País	Cimento CO <sub>2</sub> (kt)	Vidro CO <sub>2</sub> (kt)	Aço CO <sub>2</sub> (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos CO <sub>2</sub> (kt)
Alemanha	13 286,64	866,17	18 091,67	568,94
Áustria	1 770,52	41,14	10 270,60	104,07
Bélgica	4 549,89	135,25	3 925,22	175,24
Bulgária	1 127,10	76,06	31,63	71,88
Chipre	789,21	N	N	21,14
Croácia	1 324,94	29,40	4,91	175,29
Dinamarca	1 249,97	9,76	N	175,29

País	Cimento CO <sub>2</sub> (kt)	Vidro CO <sub>2</sub> (kt)	Aço CO <sub>2</sub> (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos CO <sub>2</sub> (kt)
Eslováquia	1 404,27	18,16	3 554,28	175,29
Eslovénia	477,62	13,49	58,87	175,29
Espanha	9 064,17	491,76	1 397,96	441,40
Estónia	295,49	10,40	N	0,53
Finlândia	971,44	2,02	1 843,60	175,29
França	6 806,67	538,06	11 588,22	218,38
Grécia	3 360,22	16,80	81,45	175,29
Hungria	1 022,86	49,34	1 218,10	105,59
Irlanda	1 892,60	N	N	92,88
Itália	7 911,52	596,71	1 357,05	175,29
Letónia	561,46	0,58	N	8,67
Lituânia	578,06	8,00	1,51	2,22
Luxemburgo	394,79	63,98	103,71	N
Malta	N	N	N	N
Países Baixos	6,34	69,12	18,11	124,60
Polónia	7 692,45	558,35	1 897,22	116,43
Portugal	2 225,10	159,48	80,92	78,13
República Checa	1 127,10	76,06	31,63	110,04
Roménia	3 828,02	42,41	3 845,55	95,08
Suécia	1 349,39	15,80	2 966,98	175,29

Tendo-se obtido as quantidades de materiais de construção produzidos e as respetivas emissões de carbono, é necessário estimar qual a percentagem de materiais de construção que são, de facto, direcionados anualmente para o setor da construção de edifícios, uma vez que uma parte dos materiais de construção produzidos na UE são exportados para fora da região, são armazenados para serem usados em anos seguintes ou são usados por setores que não a construção (ex. indústria automóvel). Mesmo que usados na construção, importa distinguir os materiais consumidos na construção de edifícios em detrimento da construção de estradas ou outros. Uma vez que não existe informação torna-se difícil atribuir aos materiais produzidos em cada país uma percentagem específica para a sua utilização anual no setor da construção de edifícios. Como tal, com a literatura limitada disponível, definiram-se percentagens gerais, por material, comuns a todos os países da UE (ver Tabela 11). Estas percentagens foram ainda validadas com o grupo de peritos na cadeia de valor de materiais de construção do projeto Europeu de investigação CO2NSTRUCT - Modelling the role of circular economy construction value chains for a carbon-neutral Europe<sup>4</sup> durante julho de 2023.

---

<sup>4</sup> <http://co2nstruct.eu/>

No caso do cimento, foi adotado um valor com base num caso de estudo para o Japão. Considerou-se assim que cerca de metade do cimento produzido por ano foi utilizado para a construção de edifícios nesse mesmo ano, sendo que a outra metade terá sido utilizada para a construção de infraestruturas (Watari *et al.*, 2022). Para os tijolos, telhas e ladrilhos, considerou-se que 99% do material produzido está destinado ao setor da construção de edifícios nesse mesmo ano, visto o material em questão estar, essencialmente, associado à construção de edifícios. As percentagens para o vidro e aço foram definidas com base nos trabalhos científicos de Cullen *et al.* (2012) e Westbroek *et al.* (2021).

Tabela 11 - Percentagem de materiais de construção destinados à construção de edifícios, na Europa

<b>Material</b>	<b>% do fabrico anual utilizada no setor da construção de edifícios nesse mesmo ano</b>	<b>Fonte</b>
<b>Cimento</b>	50%	(Watari <i>et al.</i> , 2022)
<b>Vidro</b>	83%	(Cullen <i>et al.</i> , 2012)
<b>Aço</b>	33%	(Westbroek <i>et al.</i> , 2021)
<b>Tijolos, telhas e ladrilhos</b>	99%	Pressuposto adotado com base em consulta a peritos em materiais de construção do projeto CO2NSTRUCT

Em alternativa a este método, procurou-se utilizar as bases de dados do Eurostat "PRODCOM" (Eurostat, 2023). Estas bases de dados fornecem estatísticas sobre a produção de bens produzidos por empresas nos países da UE. Com o intuito de se determinar a quantidade de materiais utilizados na construção de edifícios, seria necessário contabilizar as quantidades de materiais de construção que são importados e exportados por cada país. Somando as importações com o material produzido e subtraindo as exportações, poderemos obter o valor real transportado para a construção de edifícios, por país. No entanto, o objetivo desta dissertação é calcular, apenas, a pegada de carbono do setor em estudo para a UE. Ao considerar importações ou exportações, sair-se-ia do âmbito definido para a dissertação. Além disso, as bases de dados disponíveis pelo Eurostat não são adequadas para o cálculo da quantidade de materiais consumidos por país, inviabilizando a sua utilização para esta fase. Segundo informação do próprio EUROSTAT existem inconsistências no reporte que levam em vários casos à obtenção de valores negativos de consumo nacional anual.

### 3.4 Transporte de materiais de construção

As emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do transporte de materiais estão dependentes de três fatores: a distância percorrida, o peso dos materiais a transportar e o fator de emissão do veículo utilizado (Peng, 2016). Nesta dissertação consideraram-se a fase de transporte de materiais de construção e fase de transporte de resíduos para tratamento. Não foi possível considerar a fase de transporte de matérias-primas para as fábricas, a fim de se produzirem materiais de construção, pois não se obteve informação atempadamente suficiente sobre a mesma.

Não se encontra disponível informação sistematizada especificamente para o transporte de matérias-primas, materiais de construção e de resíduos na cadeia de valor da construção de edifícios na UE. Por essa razão assumiu-se que todo o transporte é feito em veículos rodoviários de mercadorias (apesar de em alguns países da UE exista também transporte por ferrovia e navegação). Em termos de distâncias percorridas consideraram-se os valores reportados pelo Eurostat e detalhados mais à frente nesta seção por cada país da União Europeia, na Tabela 12.

Existem várias incertezas associadas a este pressuposto, pois não traduz necessariamente a distância real percorrida. No que respeita às quantidades de materiais transportados, considerou-se o transporte desde a fábrica até ao local de construção - assumindo-se os mesmos volumes do que os usados anualmente no setor da construção de edifícios, conforme na seção anterior. Para se obter distâncias precisas seria necessário localizar as fábricas e, ainda, a distância a lojas de venda de materiais de construção e/ou aos centros urbanos e outros onde a construção tem lugar. Esse grau de detalhe da análise implica um esforço muito substancial não compatível com o tempo disponível para realização de uma tese de mestrado.

Para calcular as emissões de carbono envolvidas no transporte de materiais de construção na União Europeia, para o setor da construção de edifícios, utilizou-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} & \textit{Emissões de CO}_2 \textit{ na fase de transporte} \\ & = \textit{Materiais manufacturados (t)} * \textit{Distância Média de viagem(km)} \\ & * \textit{Fator de emissão} \left( \frac{\textit{kgCO}_2}{\textit{t} * \textit{km}} \right) \end{aligned}$$

Para as distâncias médias viajadas, por país da UE, no transporte de materiais de construção para o setor da construção de edifícios recorreu-se à informação "Distância média percorrida por tonelada e por tipo de operação, 2021", disponibilizada pelo Eurostat (Eurostat, 2022). Esta

contempla o transporte rodoviário de mercadorias, por país, a nível nacional e internacional, mas também em “cross-trade” e cabotagem. Uma vez que não foram contempladas exportações e importações, considerou-se, apenas as distâncias médias percorridas a nível nacional. Segundo o Eurostat (2022), em 2021, a distância média percorrida na UE, por tonelada, no transporte rodoviário de mercadorias a nível nacional foi de 95,1 km. A distância média de viagem no transporte de materiais de construção, por país da UE, considerada para esta dissertação, encontra-se apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Distância média de viagem no transporte de mercadorias na UE (km)

País	Distância média de viagem no transporte de mercadorias na UE (km)
Alemanha	90,80
Áustria	47,90
Bélgica	103,40
Bulgária	71,90
Chipre	25,40
Croácia	69,30
Dinamarca	76,70
Eslováquia	54,80
Eslovénia	42,60
Espanha	118,80
Estónia	75,10
Finlândia	108,60
França	101,20
Grécia	61,90
Hungria	80,60
Irlanda	70,10
Itália	134,10
Letónia	63,60
Lituânia	84,40
Luxemburgo	31,50
Malta	5,00
Países Baixos	63,90
Polónia	108,90
Portugal	75,30
República Checa	66,10
Roménia	81,10
Suécia	91,90

Fonte: “Distância média percorrida por tonelada e por tipo de operação, 2021” (Eurostat, 2022)

Como referido, a tipologia de transporte considerada para esta fase foi, apenas, o transporte rodoviário de mercadorias, ou seja, transporte por camião. Segundo o ICCT (2021), o

fator de emissão de carbono para a fase de transporte dos materiais deve contabilizar as toneladas transportadas e a distância percorrida pelo meio de transporte. Tendo isso em conta, consideraram-se os diferentes tipos de camião de possível utilização no transporte de materiais de construção e resíduos de construção na cadeia de valor da construção de edifícios. Além disso, compilaram-se também os fatores de emissão associados. Visto qualquer um dos diferentes veículos se mostrar apto para transportar este tipo de mercadorias, e existir informação sobre qual o tipo de veículo mais utilizado por estado-membro, decidiu-se utilizar a média dos fatores de emissão. Os valores calculados encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Tipologia de veículos e os respetivos fatores de emissão (ICCT, 2021)

Tipo de veículo	Fator de emissão (gCO <sub>2</sub> /t-km)	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /t-km)
4-UD	307,20	0,31
4-RD	197,20	0,20
4-LH	106,00	0,11
5-RD	84,00	0,08
5-LH	56,60	0,06
9-RD	111,00	0,11
9-LH	65,20	0,07
10-RD	83,30	0,08
10-LH	58,30	0,06
Média	<b>118,76</b>	<b>0,12</b>

### 3.5 Construção

No cálculo das emissões de carbono associadas à construção dos edifícios na UE, recorreram-se dados do Eurostat "Consumo final desagregado de energia na indústria"<sup>5</sup>. Nesta categoria, foi usada a base de dados "Construção de edifícios"<sup>6</sup> no cálculo das emissões de carbono. No entanto, esta apresenta valores, exclusivamente, para o ano de 2021 e apenas para 6 países. Como tal, decidiu-se recorrer complementarmente à base de dados "Construção" e utilizar os dados de energia consumida no setor da construção, como um todo, para compensar esta

<sup>5</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_D\\_INDQ\\_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_d](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_INDQ_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_d)

<sup>6</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_D\\_INDQ\\_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_d](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_INDQ_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_d)

lacuna para os restantes países. A fase de construção engloba, também, a manutenção e renovação de edifícios.

Tal como ao verificado no subcapítulo da extração de matérias-primas, considerou-se os diferentes tipos de fonte de energia referenciados para cada país pelo Eurostat, distinguindo-se entre: combustíveis fósseis sólidos, gás, petróleo e outros produtos petrolíferos, energias renováveis e biocombustíveis e eletricidade da rede nacional. Os vetores energéticos usados na construção são diferentes dos reportados para a extração.

Tabela 14 - Fatores de emissão (kgCO<sub>2</sub>/TJ) considerados por cada vetor energético

<b>Fonte de energia</b>	<b>Energia</b>
<b>Combustíveis fósseis sólidos</b>	Antracite
	Carvão de coque
	Outra hulha betuminosa
	Hulha sub-betuminosa
	Lignite
	Coque de forno de coque
	Briquetes de lenhite
	Alcatrão de hulha
<b>Gás</b>	<b>Gás natural</b>
<b>Petróleo e produtos petrolíferos</b>	Líquidos de gás natural
	Gases de petróleo liquefeitos
	Nafta
	Gasolina para motores
	Combustível para motores de reação do tipo querosene
	Outro querosene
	Gasóleo e óleo diesel
	Fuelóleo
	Outros produtos petrolíferos
	Coque de petróleo
<b>Energias renováveis e biocombustíveis</b>	Geotérmica
	Solar térmico
	Calor ambiente (bombas de calor)
	Biocombustíveis sólidos primários
	Carvão vegetal
	Biocombustíveis líquidos
	Biodiesel
	Biogás
<b>Eletricidade</b>	<b>Eletricidade da rede nacional</b>

Como foi referido no início deste subcapítulo, a base de dados do Eurostat referente à energia consumida na construção de edifícios apenas contém dados para 6 países. Assim, foi

necessário utilizar a base de dados que indica a energia consumida pelo setor de construção, na sua totalidade, e intersectar a mesma com a base de dados da energia consumida na construção de edifícios. Esta interseção teve como finalidade utilizar os valores de energia consumida na construção de edifício para os 6 países presentes na base de dados “Construção de edifícios” e desenvolver um coeficiente que permitisse estimar a quantidade de energia utilizada para construir edifícios, nos restantes países que não apresentavam dados. Aplicou-se, então, a seguinte fórmula aos 6 países que apresentavam valores em ambas as bases de dados:

$$\text{Coeficiente por país} = \frac{\text{Energia consumida na construção de edifícios}}{\text{Energia consumida pelo setor de construção}}$$

Tendo-se aplicado a fórmula para os 6 países em questão, obteve-se a Tabela 15:

Tabela 15 - Coeficiente de construção de edifícios, por país

País	Coeficiente por país
Bulgária	0,18
República Checa	0,15
Estónia	0,59
Chipre	0,25
Malta	0,24
Eslovénia	0,28

Após determinar-se os coeficientes de energia utilizada para a construção de edifícios para estes 6 países, realizou-se uma média dos mesmos. O coeficiente médio obtido foi 0,28, tendo-se atribuído o mesmo aos países que não dispunham de informações relativas ao consumo de energia na construção de edifícios. A Tabela 16 expõe os coeficientes utilizados para cada país da União Europeia.

Tabela 16 - Coeficiente de construção por país, utilizado para calcular a energia consumida na construção de edifícios nos países da UE

País	Coeficiente de construção por país, utilizado para calcular a energia consumida na construção de edifícios nos países da UE
Alemanha	0,28
Áustria	0,28
Bélgica	0,28
Bulgária	0,18
Chipre	0,25
Croácia	0,28
Dinamarca	0,28

País	Coefficiente de construção por país, utilizado para calcular a energia consumida na construção de edifícios nos países da UE
Eslováquia	0,28
Eslovénia	0,28
Espanha	0,28
Estónia	0,59
Finlândia	0,28
França	0,28
Grécia	0,28
Hungria	0,28
Irlanda	0,28
Itália	0,28
Letónia	0,28
Lituânia	0,28
Luxemburgo	0,28
Malta	0,24
Países Baixos	0,28
Polónia	0,28
Portugal	0,28
República Checa	0,15
Roménia	0,28
Suécia	0,28

Por fim, recorreu-se aos coeficientes determinados, de cada país, para calcular a energia consumida na fase de construção de edifícios na União Europeia, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Energia consumida na construção de edifícios} \\
 & = \textit{Energia consumida pelo setor de construção} \\
 & * \textit{Coeficiente por país (construção)}
 \end{aligned}$$

No cálculo do indicador “emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por valor acrescentado bruto do setor da construção”, aplicou-se a mesma metodologia verificada no subcapítulo da extração de matérias-primas. No entanto, para a fase de construção, multiplicou-se o VAB médio, dos cinco anos em estudo, de cada país pelo coeficiente de construção associado, também, a cada país. Como resultado, obteve-se a Tabela 17.

Tabela 17 - VAB médio anual para a construção de edifícios

País	Valor acrescentado bruto no setor da construção (em mil milhões de euros)
Alemanha	44,50

País	Valor acrescentado bruto no setor da construção (em mil milhões de euros)
Áustria	6,62
Bélgica	6,26
Bulgária	0,40
Chipre	0,30
Croácia	0,67
Dinamarca	4,24
Eslováquia	1,67
Eslovénia	0,69
Espanha	18,09
Estónia	0,95
Finlândia	4,27
França	33,38
Grécia	0,73
Hungria	1,82
Irlanda	2,33
Itália	19,71
Letónia	0,45
Lituânia	0,87
Luxemburgo	0,92
Malta	0,13
Países Baixos	9,99
Polónia	9,49
Portugal	2,24
República Checa	1,63
Roménia	3,73
Suécia	8,16

A restante abordagem metodológica foi igual à utilizada para a fase de extração de materiais:

- Calcular as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, em t;
- Calcular as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por VAB do setor da construção, em kt CO<sub>2</sub> por mil milhões de euros;
- Calcular as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por área edificada, per capita (ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap))

### 3.6 Demolição

À semelhança da fase de construção, para o cálculo das emissões de carbono associadas à demolição de edifícios na União Europeia, recorreu-se, também, à informação do Eurostat

“Construção de edifícios” e “Construção” e adotou-se a mesma metodologia com exceção do cálculo de um coeficiente de energia consumida na demolição, que é explicado de seguida.

Segundo Ecorys (2016), em termos de VAB, a construção e a renovação de edifícios representa 40% do VAB total do setor da construção, enquanto a demolição de edifícios corresponde a 5%. Com base nestes valores, desenvolveu-se a seguinte equação para determinar o coeficiente, por país, que permite estimar de forma aproximada a quantidade de energia consumida para a demolição de edifícios:

$$\text{Coeficiente por país (demolição)} = \frac{(\text{Coeficiente por país (construção)} * 0,05)}{0,4}$$

Obteve-se, assim, a seguinte tabela:

Tabela 18 - Coeficientes de construção e demolição de edifícios, por país

País	Coeficiente de construção, por país	Coeficiente de demolição, por país
Alemanha	0,28	0,04
Áustria	0,28	0,04
Bélgica	0,28	0,04
Bulgária	0,18	0,02
Chipre	0,25	0,03
Croácia	0,28	0,04
Dinamarca	0,28	0,04
Eslováquia	0,28	0,04
Eslovénia	0,28	0,04
Espanha	0,28	0,04
Estónia	0,59	0,07
Finlândia	0,28	0,04
França	0,28	0,04
Grécia	0,28	0,04
Hungria	0,28	0,04
Irlanda	0,28	0,04
Itália	0,28	0,04
Letónia	0,28	0,04
Lituânia	0,28	0,04
Luxemburgo	0,28	0,04
Malta	0,24	0,03
Países Baixos	0,28	0,04
Polónia	0,28	0,04
Portugal	0,28	0,04
República Checa	0,15	0,02
Roménia	0,28	0,04
Suécia	0,28	0,04

Por fim, recorreu-se aos coeficientes determinados para cada país, para calcular a energia consumida na fase de demolição de edifícios na UE, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} & \textit{Energia consumida na demolição de edifícios} \\ & = \textit{Energia consumida pelo setor de construção} \\ & * \textit{Coeficiente por país (demolição)} \end{aligned}$$

No cálculo do indicador “emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por valor acrescentado bruto do setor da construção”, aplicou-se a mesma metodologia para a extração de matérias-primas, apenas considerando a fração do VAB aplicado à demolição (multiplicou-se o VAB médio, dos cinco anos em estudo, de cada país pelo coeficiente de demolição associado, também, a cada país). Como resultado, obteve-se a Tabela 19.

Tabela 19 - VAB médio anual para a demolição de edifícios

País	Valor acrescentado bruto no setor da demolição (em mil milhões de euros)
Alemanha	5,56
Áustria	0,83
Bélgica	0,78
Bulgária	0,05
Chipre	0,04
Croácia	0,08
Dinamarca	0,53
Eslováquia	0,21
Eslovénia	0,09
Espanha	2,26
Estónia	0,12
Finlândia	0,53
França	4,17
Grécia	0,09
Hungria	0,23
Irlanda	0,29
Itália	2,46
Letónia	0,06
Lituânia	0,11
Luxemburgo	0,11
Malta	0,02
Países Baixos	1,25
Polónia	1,19
Portugal	0,28
República Checa	0,20

País	Valor acrescentado bruto no setor da demolição (em mil milhões de euros)
Roménia	0,47
Suécia	1,02

### 3.7 Transporte de resíduos

A fase final da cadeia de valor do setor da construção de edifícios consiste no transporte de resíduos para serem, posteriormente, tratados. Inicialmente, considerou-se contemplara fase de tratamento dos resíduos. No entanto, segundo Peng (2016), os resíduos de construção (e demolição) são, maioritariamente, transportados para locais de eliminação de resíduos para serem depositados a céu aberto ou em aterro após a demolição. Noutros casos, poderão ser transportados para valorização, afim de servirem para as estradas e enchimento e taludes. Como este tipo de operação de gestão tem baixas emissões de carbono associadas, considerou-se que as emissões de CO<sub>2</sub> nesta fase são principalmente geradas pelo processo de transporte, até ao local de eliminação tendo por base a informação de (Peng, 2016). Assim, utilizou-se a seguinte equação:

*Emissões de CO<sub>2</sub> na fase de transporte de resíduos*

$$= \text{Quantidade de resíduos a eliminar (t)} * \text{Distância Média de viagem(km)} \\ * \text{Fator de emissão} \left( \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t} * \text{km}} \right)$$

Recolheram-se dados relativos à quantidade de resíduos de construção e demolição enviados para tratamento, por país da UE, em toneladas "Tratamento de resíduos por categoria de resíduos, perigosidade e operações de gestão de resíduos", disponibilizada pelo Eurostat. Os dados em questão foram recolhidos para os anos de 2018 e 2020, visto não haver informação para os restantes anos, e calculou-se a média por país (Tabela 20).

Tabela 20 - Quantidade de resíduos de construção e demolição enviados para tratamento

País	2018 (toneladas)	2020 (toneladas)	Média anual (toneladas)
Alemanha	83 042 460	85 706 884	<b>84 374 672</b>
Áustria	10 548 788	10 709 663	<b>10 629 226</b>
Bélgica	585 408	4 710 913	<b>2 648 161</b>
Bulgária	525 966	938 974	<b>732 470</b>
Chipre	219 631	259 675	<b>239 653</b>
Croácia	305 411	420 733	<b>363 072</b>
Dinamarca	4 090 287	3 695 102	<b>3 892 695</b>
Eslováquia	1 012 160	979 261	<b>995 711</b>
Eslovénia	354 486	868 664	<b>611 575</b>
Espanha	14 495 808	14 341 183	<b>14 418 496</b>
Estónia	1 026 665	671 028	<b>848 847</b>

País	2018 (toneladas)	2020 (toneladas)	Média anual (toneladas)
Finlândia	1 213 288	1 228 328	1 220 808
França	68 965 855	61 161 817	65 063 836
Grécia	718 860	1 573 901	1 146 381
Hungria	3 478 197	4 320 114	3 899 156
Irlanda	877 569	554 329	715 949
Itália	40 364 355	45 583 675	42 974 015
Letónia	396 407	317 839	357 123
Lituânia	661 381	602 860	632 121
Luxemburgo	390 251	542 699	466 475
Malta	1 759 966	2 947 811	2 353 889
Países Baixos	20 339 362	20 259 180	20 299 271
Polónia	4 354 088	4 965 153	4 659 621
Portugal	935 368	1 282 041	1 108 705
República Checa	7 411 884	7 066 101	7 238 993
Roménia	585 992	960 730	773 361
Suécia	1 254 820	1 740 076	1 497 448

Fonte: “Tratamento de resíduos por categoria de resíduos, perigosidade e operações de gestão de resíduos” (Eurostat, 2023)

De seguida, assumiu-se que 50% destes resíduos enviados para tratamento são, de facto, provenientes de edifícios, sendo os outros 50% provenientes de infraestruturas. Tendo em conta este pressuposto, obteve-se a seguinte tabela:

Tabela 21 - Quantidade de resíduos de construção, provenientes de edifícios, enviados para tratamento (kt)

País	Resíduos de construção, provenientes de edifícios, enviados para tratamento por ano (kt)
Alemanha	42 187 336,00
Áustria	5 314 612,75
Bélgica	1 324 080,25
Bulgária	366 235,00
Chipre	119 826,50
Croácia	181 536,00
Dinamarca	1 946 347,25
Eslováquia	497 855,25
Eslovénia	305 787,50
Espanha	7 209 247,75
Estónia	424 423,25
Finlândia	610 404,00
França	32 531 918,00
Grécia	573 190,25
Hungria	1 949 577,75
Irlanda	357 974,50
Itália	21 487 007,50
Letónia	178 561,50

País	Resíduos de construção, provenientes de edifícios, enviados para tratamento por ano (kt)
Lituânia	316 060,25
Luxemburgo	233 237,50
Malta	1 176 944,25
Países Baixos	10 149 635,50
Polónia	2 329 810,25
Portugal	554 352,25
República Checa	3 619 496,25
Roménia	386 680,50
Suécia	748 724,00

A restante abordagem foi igual à adotada para o transporte de materiais, tendo-se utilizado os valores de distância percorrida médios, por país, da Tabela 12, e o fator de emissão médio da Tabela 13.

### 3.8 Análise de sensibilidade

Os resultados obtidos apresentam uma elevada incerteza associada, fruto dos diversos pressupostos assumidos. Como tal, foi necessário realizar uma análise de sensibilidade, a fim de compreender de que forma os resultados e as principais conclusões retiradas, variam com estes pressupostos. Os pressupostos considerados para esta análise foram cinco:

- 1) "40% da energia utilizada na extração de matérias-primas para construção, é consumida para o setor da construção de edifícios";
- 2) "50% do cimento produzido é utilizado no setor da construção de edifícios no mesmo ano";
- 3) "33% do aço produzido é utilizado no setor da construção de edifícios no mesmo ano";
- 4) "Distância média de transporte viajada por país";
- 5) "Em 21 dos países estudados, 28% do consumo de energia total da construção é consumida para o setor da construção de edifícios".

A escolha de sujeitar, apenas, estes pressupostos a uma análise de sensibilidade, advém do peso elevado, que as fases em que se inserem, têm na pegada de carbono final. Para esta análise, considerou-se um aumento e uma diminuição de 20% nos pressupostos assumidos. A escolha de uma variação de 20% tem como base o artigo de D. M. Hamby (1995), onde é referido que esta variação permite uma boa análise da sensibilidade dos resultados obtidos.

## 3.9 Limitações

No desenvolvimento desta secção identificaram-se diversas limitações:

### **Extração de matérias-primas:**

- A base de dados “Outras indústrias extrativas, exceto extração de turfa”, de onde foram recolhidos os dados de energia utilizada na extração de areia, cimento e cerâmica, não permite distinguir entre tipos de materiais, assumindo-se os mesmos como um todo nesta fase.
- Não foram consideradas importações e exportações de matérias-primas, nem a energia utilizada na extração das mesmas.
- Existe um elevado grau de incerteza associada à utilização do coeficiente de 40% para todos os países. É bastante improvável que todos os países da União Europeia atribuam 40% das matérias-primas extraídas para o setor da construção de edifícios.

### **Produção de materiais de construção**

- À semelhança da fase de extração de materiais, não foram consideradas importações e exportações de materiais de construção.
- O Inventário Nacional de Emissões de GEE de 2021 submetido à UNFCCC, onde se retiraram as quantidades de materiais de construção produzidos por país da União Europeia, apresentaram valores confidenciais e/ou falta de informação para alguns países.
- Relativamente à produção de tijolos, telhas e ladrilhos, houve 9 países que reportaram o consumo de carbonatos para a produção do material de construção em causa, ao invés de disporem da quantidade de material produzida. Assim, calculou-se e atribuiu-se a estes países a produção média europeia e as emissões médias de carbono emitido na produção de tijolos, telhas e ladrilhos. Os países em questão são: Croácia, Dinamarca, Finlândia, Grécia, Irlanda, Itália, Eslováquia, Eslovénia e Suécia.
- Não está claro qual a fração das quantidades de materiais de construção produzidos por ano que são consumidos nesse mesmo ano pelo setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. Como tal, pressupôs-se que a percentagem de materiais de construção produzidos, exclusivamente, para o setor da construção de edifícios, foi igual para todos os países da União Europeia. Idealmente, seriam consideradas as percentagens individuais de materiais de construção para o setor da construção de edifícios, para cada país. As percentagens em questão foram formuladas com base em estudos semelhantes, sendo importante referir que os autores desses estudos também criam os seus próprios pressupostos.

### **Transporte de materiais de construção**

- Assim como nas fases anteriores, não foram consideradas importações e exportações de materiais de construção.

- Considerou-se apenas o transporte rodoviário no cálculo das emissões de carbono para a fase de transporte de materiais de construção, não tendo sido contabilizado o transporte por comboio, avião e/ou barco.
- Atribuiu-se o mesmo fator de emissão médio, para os veículos responsáveis pelo transporte dos materiais, em todos os países
- Para o cálculo das emissões de carbono nesta fase, foi necessário assumir uma distância média percorrida pelo veículo rodoviário, por país.
- Adicionalmente, assumiu-se que todos os materiais de construção apresentam o mesmo padrão de transporte, não se tendo discriminado o tipo de transporte utilizado por material.

### **Construção**

- 2021 foi o único ano que apresentou valores em ambas as bases de dados utilizadas
- Os coeficientes dos países que não apresentam dados foram determinados com base na média dos coeficientes dos 6 países que dispuseram de valores, havendo, assim, um elevado grau de incerteza associado.
- Visto não existirem dados relativos à energia para 6 países (Irlanda, Grécia, Itália, Luxemburgo, Polónia e Suécia), as suas emissões foram calculadas com base num "indicador per capita". Ou seja, as emissões destes países resultam de uma aproximação realizada com base na população de cada um e na média das emissões dos restantes países que apresentam dados.

### **Demolição**

- 2021 foi o único ano que apresentou valores em ambas as bases de dados utilizadas
- Os coeficientes dos países que não apresentam dados foram determinados com base na média dos coeficientes dos 6 países que dispuseram de valores, havendo, assim, um elevado grau de incerteza associado.
- Visto não existirem dados relativos à energia para 6 países (Irlanda, Grécia, Itália, Luxemburgo, Polónia e Suécia), as suas emissões foram calculadas com base num "indicador per capita". Ou seja, as emissões destes países resultam de uma aproximação realizada com base na população de cada um e na média das emissões dos restantes países que apresentam dados.

### **Transporte de Resíduos:**

- Considerou-se apenas o transporte rodoviário no presente cálculo das emissões de carbono para a fase de transporte de resíduos de construção, não tendo sido contabilizado o transporte por comboio, avião e/ou barco.
- Para o cálculo das emissões de carbono nesta fase, foi necessário assumir uma distância média percorrida por veículo rodoviário, por país.

- Adicionalmente, assumiu-se que todos os resíduos de construção apresentam o mesmo padrão de transporte, não se tendo discriminado o tipo de transporte utilizado por tipologia de resíduo.
- Pressupôs-se que 50% dos materiais de construção enviados para tratamento provêm de edifícios, o que tem alguma incerteza associada.



## RESULTADOS

Os resultados da dissertação estão representados neste capítulo. O mesmo encontra-se estruturado de acordo com as fases da cadeia de valor do setor da construção de edifícios, à semelhança do capítulo anterior. Para cada fase da cadeia de valor, foram calculadas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> inerentes. No final deste capítulo, existe uma secção que contém a junção das emissões médias anuais de todas as fases consideradas.

### 4.1 Extração de matérias-primas

Na Figura 6, é possível observar o consumo energético associado à extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios, por país da UE e por tipo de fonte energética. França e Alemanha destacam-se por serem os países que mais energia utilizaram para a extração de matérias-primas, sendo que a França consumiu 4 380 TJ, de energia, e a Alemanha 3 500 TJ. Verifica-se que existe uma grande aposta no uso de eletricidade, proveniente da rede elétrica de cada país. Tal pode ser verificado em países como a Itália, Polónia, Suécia, Áustria, França e Alemanha, que apresentam consumos de eletricidade elevados. Praticamente todos os países recorrem ao uso gás natural na fase de extração, com destaque para a Alemanha e Áustria. No geral, a utilização de petróleo e produtos petrolíferos é reduzida, com exceção de França, onde a fonte de energia em causa representa mais de metade da energia total utilizada pelo país. O uso de combustíveis fósseis sólidos é reduzido nesta fase. Os países que mais usam são a Alemanha, Polónia, Dinamarca e Países Baixos. A utilização de energias renováveis e biocombustíveis representa uma percentagem bastante baixa, sendo, inclusive, nula em diversos países.

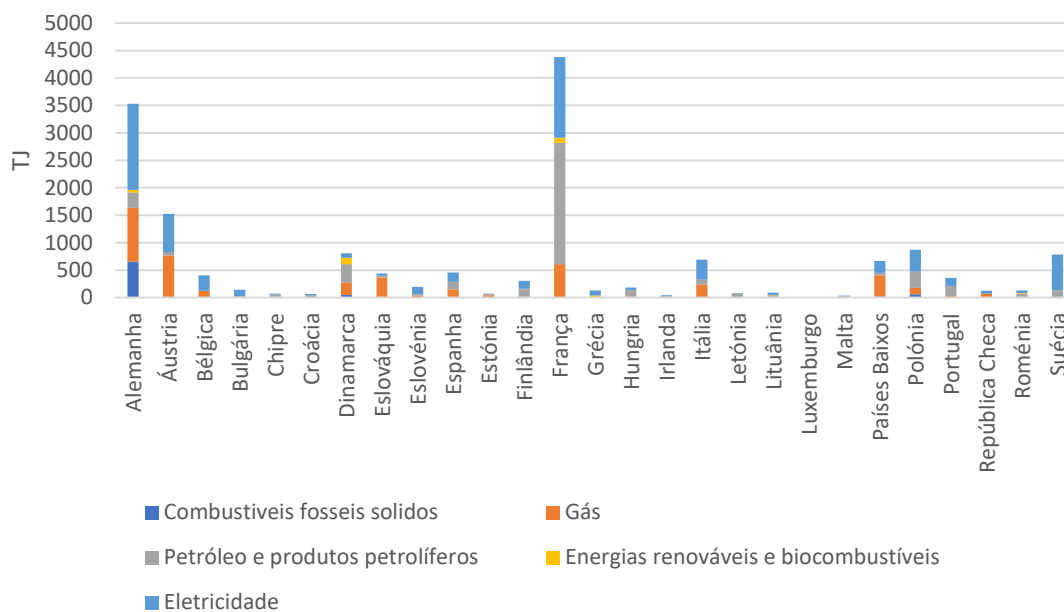


Figura 6 - Consumo médio anual de energia por país para extração de matérias-primas, para o setor da construção de edifícios.

A Figura 7 representa, em kt, as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas no setor da construção de edifícios, por país. Analisando-se a figura, é visível a elevada quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> associadas à Alemanha e à França, emitindo 300kt e 225 kt respetivamente. A Alemanha apresenta a maior quantidade de emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> devido, essencialmente, à elevada intensidade de carbono da eletricidade da rede nacional. Apesar da França consumir mais energia, tem menos emissões que a Alemanha, uma vez que grande parte dessa energia consiste em eletricidade da rede elétrica, que, por sua vez, apresenta uma menor intensidade de carbono. A Polónia é o terceiro país que mais emite CO<sub>2</sub> na UE, ultrapassando as 100 kt de CO<sub>2</sub>. Comparativamente aos países referidos, a Áustria e a Itália apresentam emissões mais reduzidas, emitindo 75 e 55 kt de CO<sub>2</sub>, respetivamente. A Dinamarca e os Países Baixos emitem, quase, 50 kt de CO<sub>2</sub> por ano, estando os restantes países, também, abaixo destes valores. O mesmo se verifica em Espanha, que apresenta uma quantidade de emissões semelhante à Alemanha, apesar de ter um consumo energético em TJ superior. Luxemburgo e Suécia apresentaram valores nulos de emissões de CO<sub>2</sub> para o período em estudo. Os restantes países apresentaram quantidades de CO<sub>2</sub> emitido semelhantes, abaixo das 200 kt CO<sub>2</sub>, notando-se uma maior superioridade em países do sul (Portugal, Itália e Grécia), centro (Áustria e República Checa) e norte (Dinamarca, Finlândia e Países Baixos).

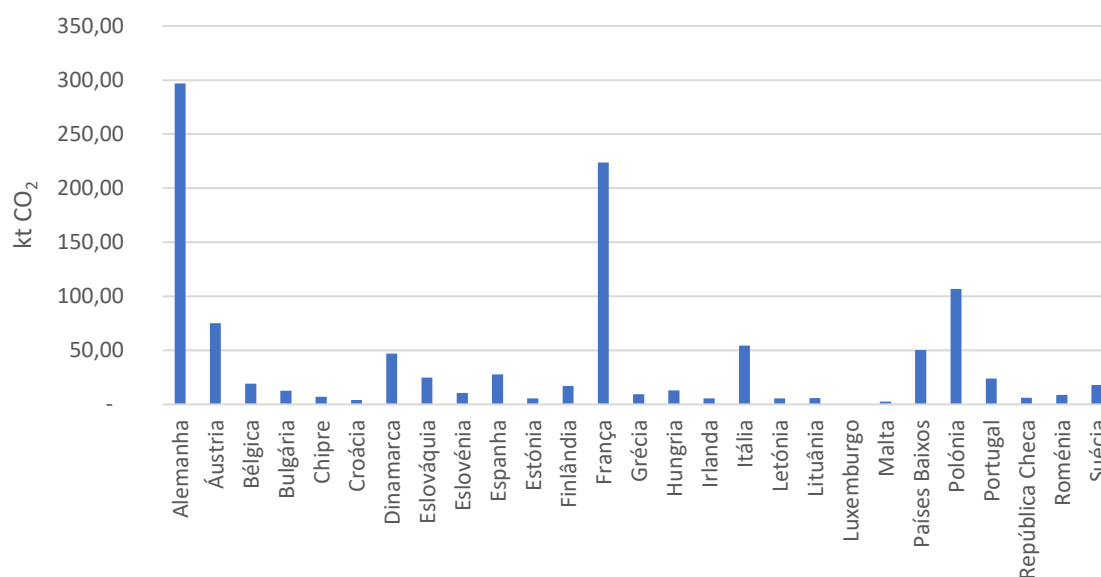


Figura 7 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios

As emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas por VAB no setor da construção (kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros), estão representadas na Figura 8. É perceptível como o Chipre e a Bulgária são os países com mais emissões de carbono por cada mil milhões de euros do VAB, estando, cada um, perto das 6 kt. Tal é explicado pelo facto de ambos emitirem demasiado carbono nesta fase apesar de disporem de VAB inferior à maioria dos países. Malta, Eslovénia e Eslováquia ultrapassam as 4 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Vários países emitem entre 3 e 4 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros, como é o caso da Áustria, Dinamarca, Estónia, Grécia, Letónia, Polónia e Portugal. Os restantes países apresentam valores mais baixos, com destaque para a Alemanha e a França que emitem menos de 2 ktCO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Apesar das elevadas emissões de CO<sub>2</sub>, este valor é baixo, comparativamente a outros países, devido ao VAB elevado no setor da construção.

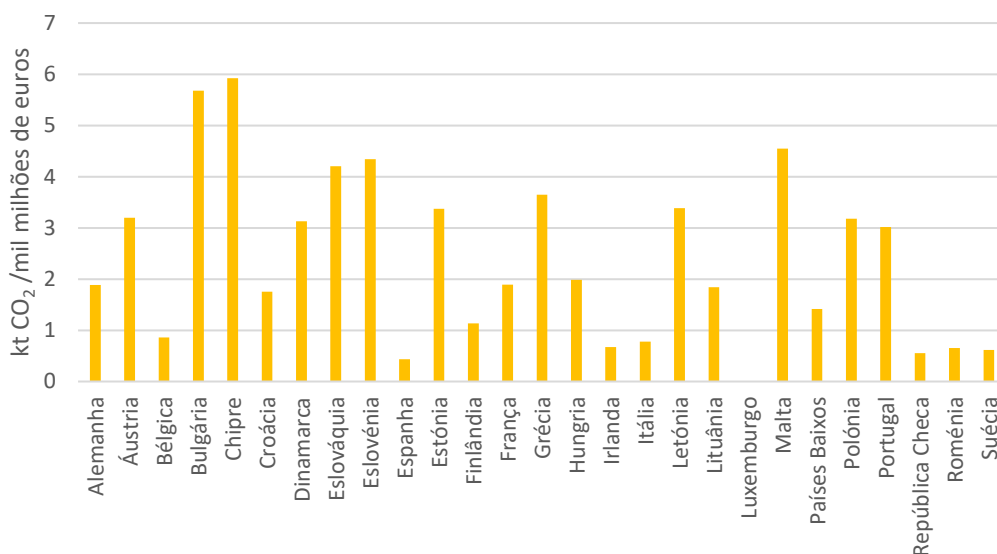


Figura 8 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas por VAB no setor da construção

A Figura 9 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas, para o setor da construção de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita (ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap)). A Alemanha emite mais de 5 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap) nesta fase, tratando-se de um valor mais elevado, relativamente aos outros países na Europa, devido às grandes quantidades de CO<sub>2</sub> emitido anualmente. O mesmo pode ser dito para França, que emite ligeiramente mais de 4 kt de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup>/capita. A Polónia emite 3 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), o que pode ser explicado pelas suas emissões de CO<sub>2</sub>, superiores a vários países, e a sua baixa área ocupada por edifícios, per capita. Relativamente aos restantes países, Áustria e Itália são os únicos que ultrapassam 1 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap).

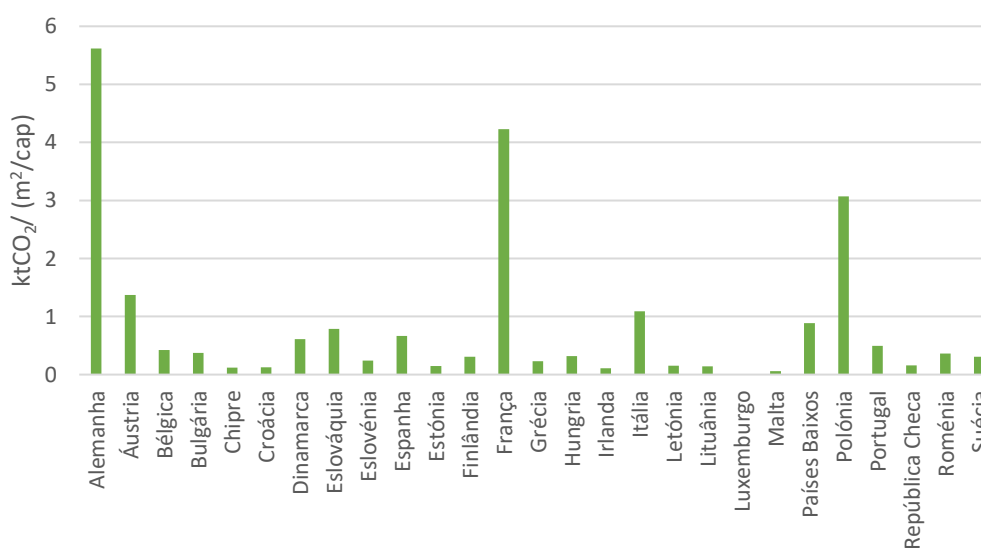


Figura 9 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de matérias-primas por área ocupada por edifícios, per capita

### 4.1.1 Mineração de matérias-primas para o cimento, vidro e tijolos

Na Figura 10, é possível observar o volume energético, por país da União Europeia e por tipo de fonte energética, associado à extração de matérias-primas para o cimento, vidro e cerâmica, para o setor da construção de edifícios. A França, Alemanha e a Áustria foram os países que mais energia utilizaram para a extração das matérias-primas referidas. No caso da França, foram consumidos mais 4 700 TJ de energia, mais que qualquer outro país. A Alemanha consumiu mais de 3 500 TJ de energia nesta fase, e a Áustria consumiu cerca de 1 500 TJ. Pela figura, é visível uma grande aposta, por parte de todos os países, no uso de eletricidade proveniente da rede nacional de cada país, com destaque na Áustria, França e Alemanha, onde a sua utilização é maior. Apesar de ser em menores quantidades, o uso de eletricidade da rede nacional na Bélgica, Itália e Finlândia, corresponde a mais de 50% de toda a energia consumida nos respetivos países para a extração destas matérias-primas. Quase todos os países recorrem ao uso gás natural nesta fase, com destaque para a Alemanha e Áustria, onde a sua utilização é mais preponderante. A utilização de petróleo e produtos petrolíferos é elevada em vários países. Na França, onde o seu uso é superior a qualquer outro país, esta fonte de energia representa mais de metade da energia total consumida. Em países como Portugal, Roménia e Hungria, o recurso a esta fonte de energia também corresponde a mais de metade de toda a energia consumida no país, apesar de serem quantidades muito inferiores. Na Suécia, quase 100% da energia provem desta fonte. O uso de combustíveis fósseis sólidos é bastante reduzido, havendo diversos países que não recorrem aos mesmos para produzir energia. No entanto, para a fase de extração em estudo, estes ainda são utilizados na Alemanha, Polónia e Dinamarca. Na Alemanha consumiu-se mais de 500 TJ de energia produzida com combustíveis fósseis sólidos. A utilização de energias renováveis e biocombustíveis representa uma percentagem bastante baixa, sendo, inclusive, nula em diversos países. Está, no entanto, essencialmente presente na França, Dinamarca e Alemanha.

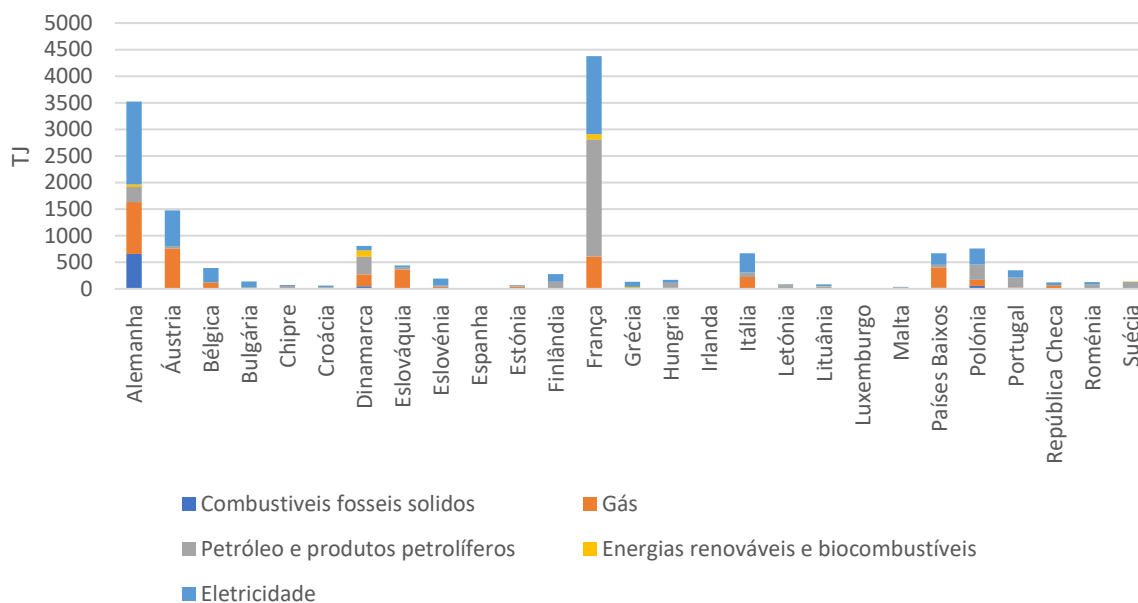


Figura 10 - Consumo médio anual de energia, por país, na extração de matérias-primas relevantes para produção de cimento, vidro e tijolos

Na Figura 11 podem encontrar-se as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à extração de matérias-primas para o cimento, vidro e cerâmica, para o setor da construção de edifícios. A Alemanha apresenta uma quantidade elevada de emissões de CO<sub>2</sub> anuais, emitindo perto de 300 kt de CO<sub>2</sub>. É o país com maior número de emissões devido à extração das matérias-primas em questão. A França emite, em média, 225 kt de CO<sub>2</sub> anualmente. Apesar da França consumir mais energia, esta apresenta um menor número de emissões que a Alemanha devido ao facto de grande parte dessa energia ser proveniente da rede elétrica nacional, que, por sua vez, é menos intensiva em carbono. Os restantes países revelam emissões anuais de CO<sub>2</sub> bastante semelhantes e abaixo das 50 kt, com exceção da Polónia (85 kt de CO<sub>2</sub>), Áustria (70 kt de CO<sub>2</sub>) e Itália (55 kt de CO<sub>2</sub>). Espanha, Luxemburgo e Irlanda não apresentaram valores de emissões específicos para estas matérias-primas.

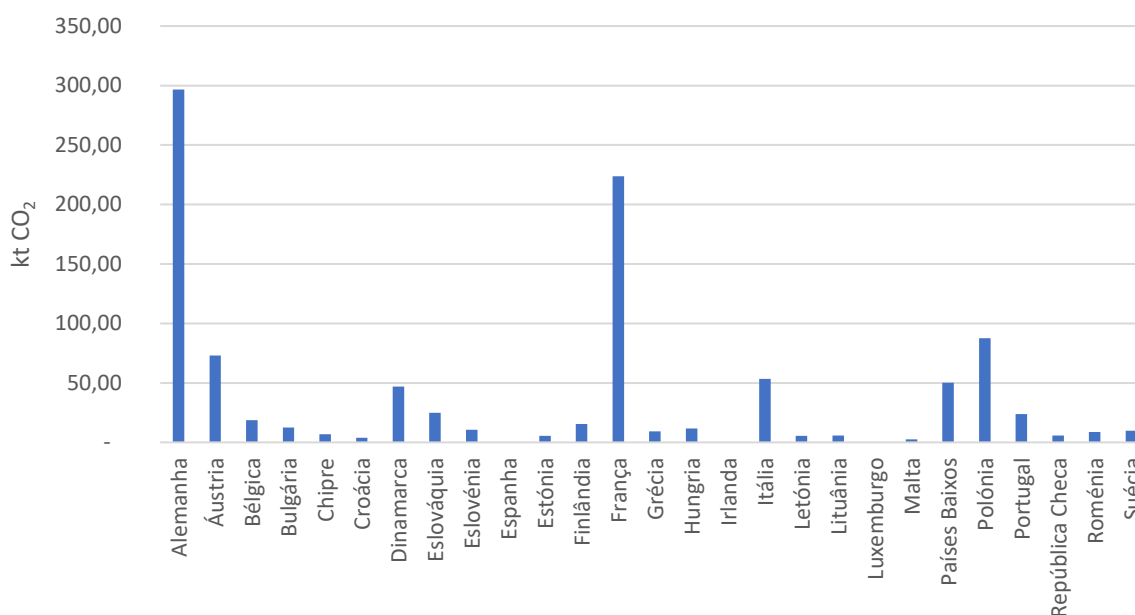


Figura 11 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à extração de areia e matérias-primas para cimento e cerâmica, para o setor de Real Estate

#### 4.1.2 Mineração de metais para o aço

Na Figura 12, é possível observar o volume energético, por país da União Europeia e por tipo de fonte energética, associado à extração de metais utilizados pelo setor da construção de edifícios. É fácil compreender que quase nenhum país da União Europeia extrai metais para o setor em estudo, sendo que os únicos que apresentam valores de energia consumida nesta fase são: Alemanha, Áustria, França, Itália, Portugal e Suécia. O país que apresenta maior consumo de energia é a Suécia, verificando uma utilização de 650 TJ para a extração. Comparativamente à Suécia, os restantes 5 países evidenciam consumos muito baixos, destacando, apenas, a Áustria com 13 TJ de energia consumida. De todos os países que consomem energia na extração de metais para o setor da construção de edifícios, apenas a Itália e a Áustria não utilizam a eletricidade de rede nacional como principal fonte de energia. No seu caso, recorre-se mais ao uso de petróleo e produtos petrolíferos.

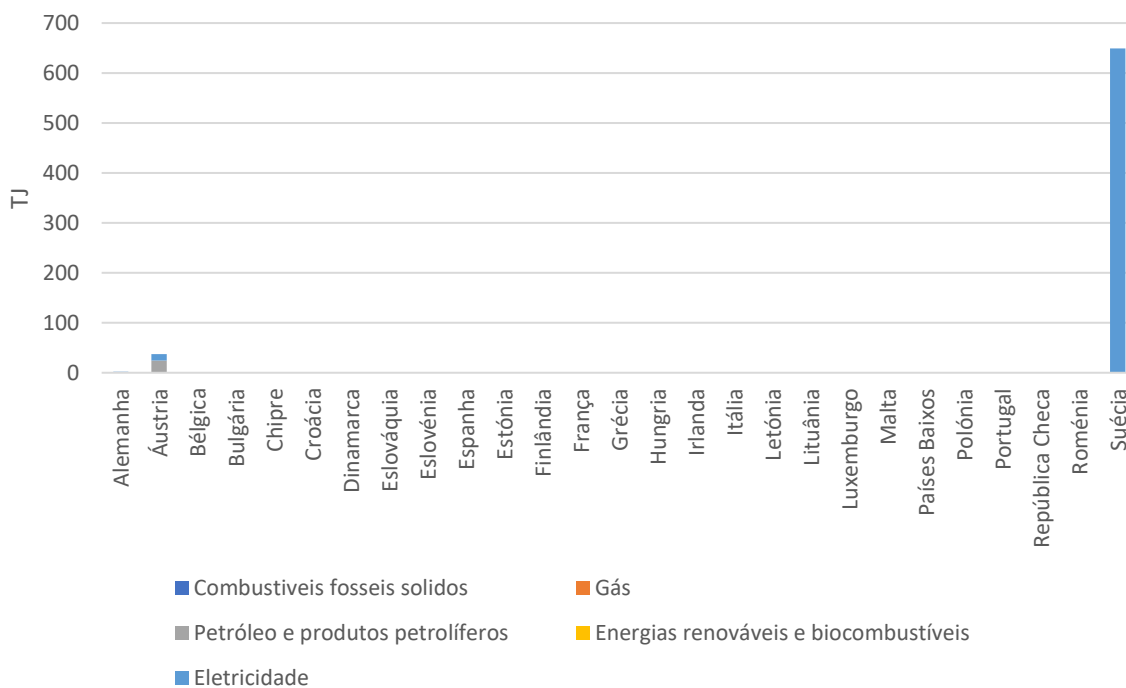


Figura 12 - Consumo médio anual de energia, por país, na extração de metais para o aço, para o setor de Real Estate

A Figura 13 representa, em kt, as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à extração de metais para o setor da construção de edifícios, por país. Ao analisar-se a figura, percebe-se que a Áustria emite, por ano, um pouco mais de 8 kt de CO<sub>2</sub>, estando bastante acima de outros países da UE. No entanto, esta quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> pode ser considerada baixa, tendo em consideração a quantidade de energia produzida. Isto advém do facto do país apenas recorrer à rede nacional de eletricidade, para extrair os metais, e da baixa intensidade carbónica associada à mesma. Dos poucos países que, de facto, têm emissões de carbono associadas à extração de metais para o setor, apenas a Áustria ultrapassa a 1kt de CO<sub>2</sub> emitido.

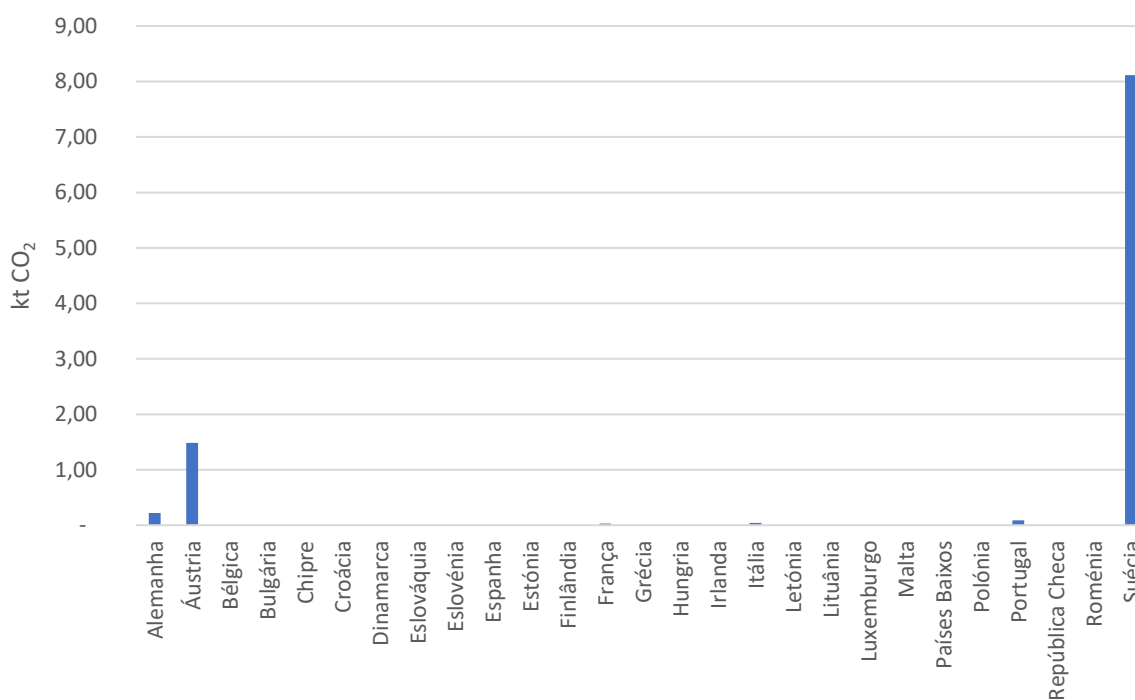


Figura 13 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à extração de metais para o aço, para o setor de Real Estate

### 4.1.3 Atividades de apoio à mineração

Na Figura 14, é possível observar o volume energético, por país da União Europeia e por tipo de fonte energética, associado a atividades de apoio à mineração para o setor de Real Estate. Ora pela figura, a Polónia destaca-se como sendo o país que mais energia utiliza nas atividades referidas, atingindo os 115 TJ. Deste valor, quase 90% é proveniente da rede elétrica nacional. Os restantes 10% estão distribuídos entre gás natural, combustíveis fósseis sólidos e outros produtos petrolíferos. Dos restantes países, apenas a Finlândia ultrapassou os 20 TJ de energia consumida. A Finlândia, juntamente com a Hungria, utilizou, maioritariamente, energia proveniente de petróleo e outros produtos petrolíferos. Países como a Bélgica, Bulgária e República Checa consumiram, essencialmente, eletricidade da rede nacional. Já a Itália utilizou mais gás natural.

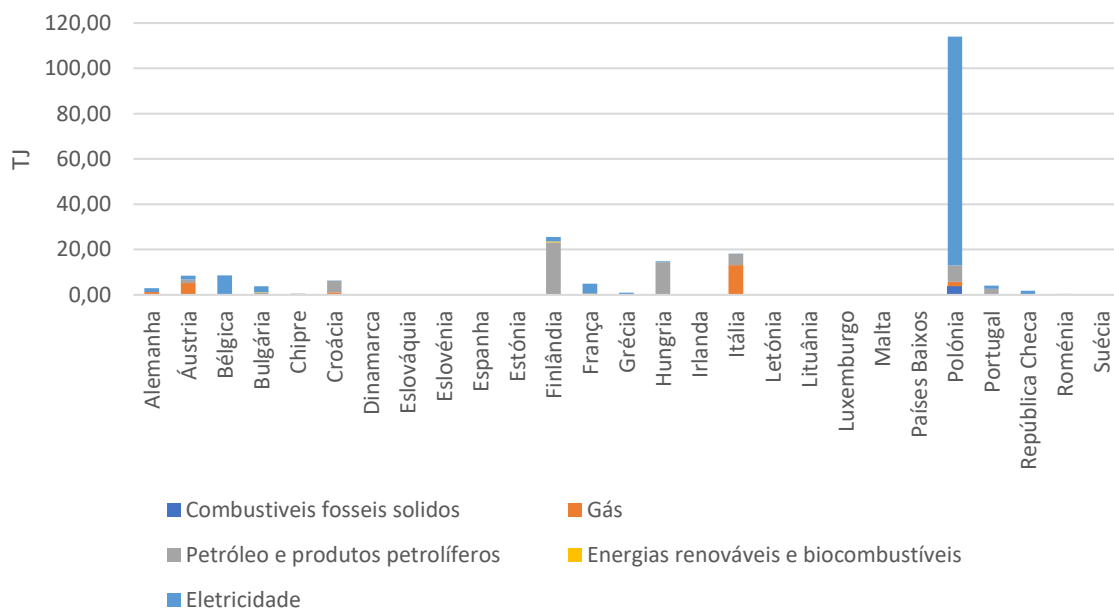


Figura 14 - Consumo médio anual de energia, por país, em atividades de apoio à mineração, para o setor de Real Estate

Na Figura 15 são visíveis as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas a atividades de apoio à mineração para o setor da construção de edifícios. Segundo a figura, a Polónia é responsável pela maioria das emissões, atingindo quase as 20 kt de CO<sub>2</sub> por ano. Os restantes países apresentam emissões de CO<sub>2</sub> bastante reduzidas, sendo a Finlândia o segundo país com mais emissões (cerca de 2 kt) e a Hungria o terceiro (1,1 kt).

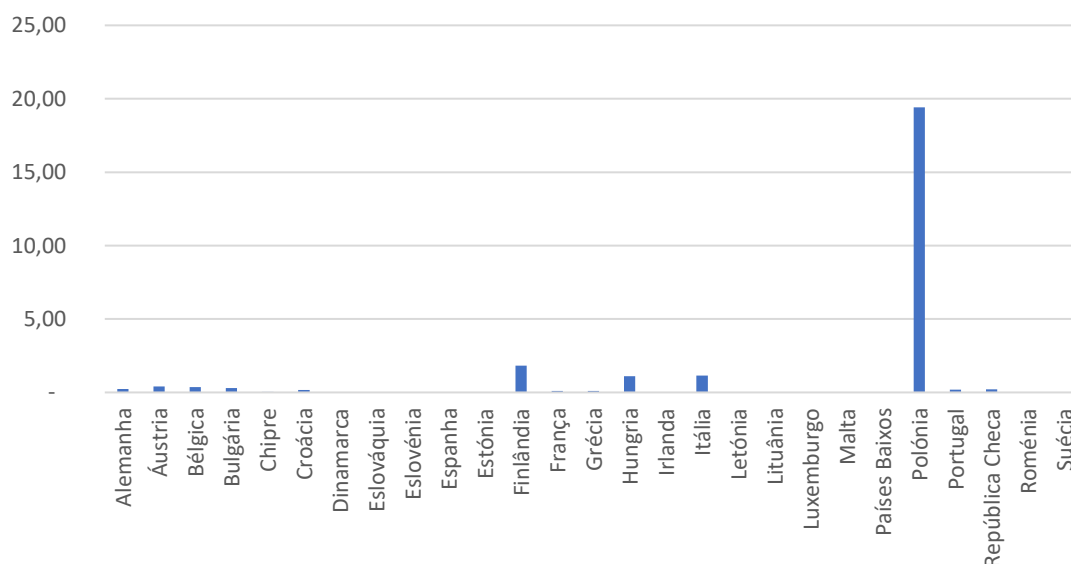


Figura 15 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas às atividades de apoio à mineração, para o setor da construção de edifícios

## 4.2 Produção de materiais de construção

A Figura 16 representa a produção média anual de cimento, em kt, estimada como sendo aplicável para o setor da construção de edifícios, por país da UE. Segundo a figura, a Alemanha é a maior produtora de cimento para o setor em estudo, produzindo mais de 12 000 kt por ano, seguida pela Espanha, que produz mais de 8 000 kt por ano. Países como a Itália e Polónia produzem pouco mais de 7 000 kt por ano. Destaca-se também a França, que ultrapassa as 6 000 kt por ano, a Grécia e a Roménia, com mais de 3 000 kt. Dos restantes países, apenas a Bélgica e Portugal ultrapassam as 2 000 kt de cimento produzido por ano. Malta não apresentou quaisquer dados de produção e os valores de produção da Hungria eram confidenciais.

Na Figura 17 está representada a produção média anual de vidro, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. À semelhança da produção de cimento, a Alemanha é a maior produtora de vidro, na União Europeia, para o setor da construção de edifícios, produzindo cerca de 6 000 kt. A Itália é a segunda maior produtora (5 000 kt de vidro) e a Espanha a terceira (4 000 kt). Países como a França e a Polónia estão perto das 3 000 kt de vidro produzido anualmente. Dos restantes países, apenas Portugal, os Países Baixos e a Bélgica é que ultrapassam as 1 000 kt de vidro produzido. O Chipre, a Irlanda e a Suécia não apresentam produção de vidro no país. Malta, novamente, não apresentou quaisquer dados.

A Figura 18 representa a produção média anual de aço, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. A Alemanha é, novamente, a maior produtora, produzindo cerca de 13 000 kt de aço por ano. A Itália é a segunda maior produtora, pois ultrapassa as 7 500 kt de aço produzido por ano. A Bélgica produz cerca de 6 000 kt por ano, estando acima da França, Espanha e Áustria, que produzem pouco mais de 4 000 kt por ano. Enquanto os Países Baixos produzem cerca de 2 000 kt de aço por ano, os restantes países apresentam produções mais baixas (rondando as 1 000 kt). O Chipre, a Dinamarca, a Estónia, a Irlanda, a Letónia, a Lituânia e Malta não apresentaram valores de produção de aço. Não foi possível compreender qual a produção média anual de aço na Polónia, visto ser confidencial.

Na Figura 19 está representada a produção média anual de tijolos, telhas e ladrilhos, em kt, para o setor da construção de edifícios e por país da União Europeia. É perceptível como a Espanha aparenta ser a maior produtora, ultrapassando as 13 000 kt. A Alemanha é a segunda maior produtora deste material, estando próxima das 12 000 kt produzidas. A França é, anualmente, a terceira maior produtora do material em questão, produzindo cerca que 5 000 kt, o que está bastante abaixo da Alemanha e Espanha. Países como a Dinamarca, Itália, Portugal, Suécia produzem, anualmente, cerca de 3 000 kt deste material para o setor da construção de

edifícios. Malta e Luxemburgo não apresentaram dados de produção de tijolos, telhas e ladrilhos.

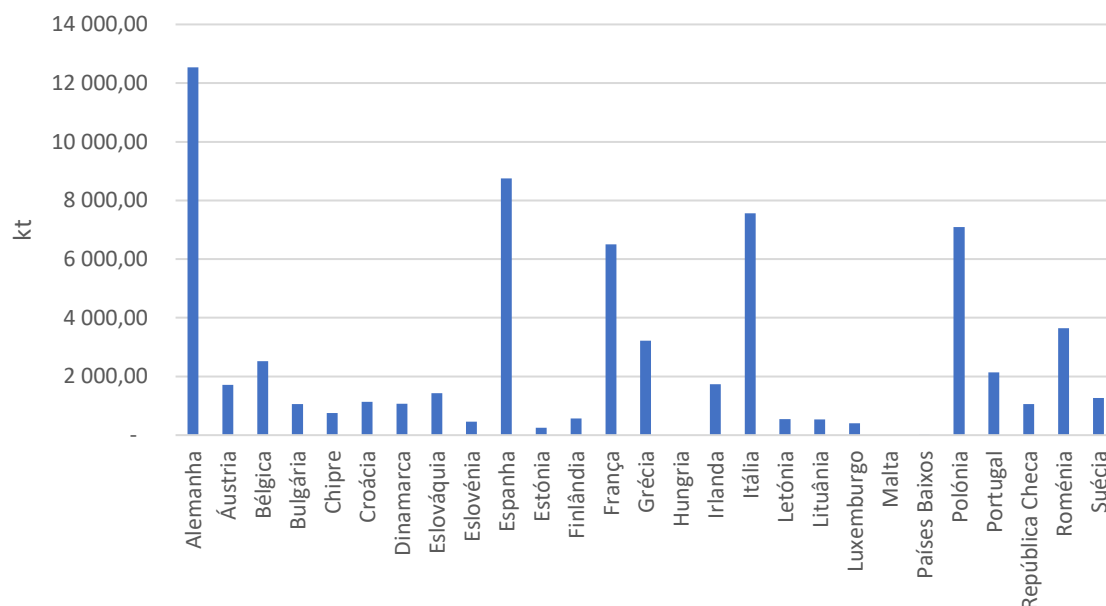


Figura 16 - Produção média anual de cimento, por país, para o setor da construção de edifícios

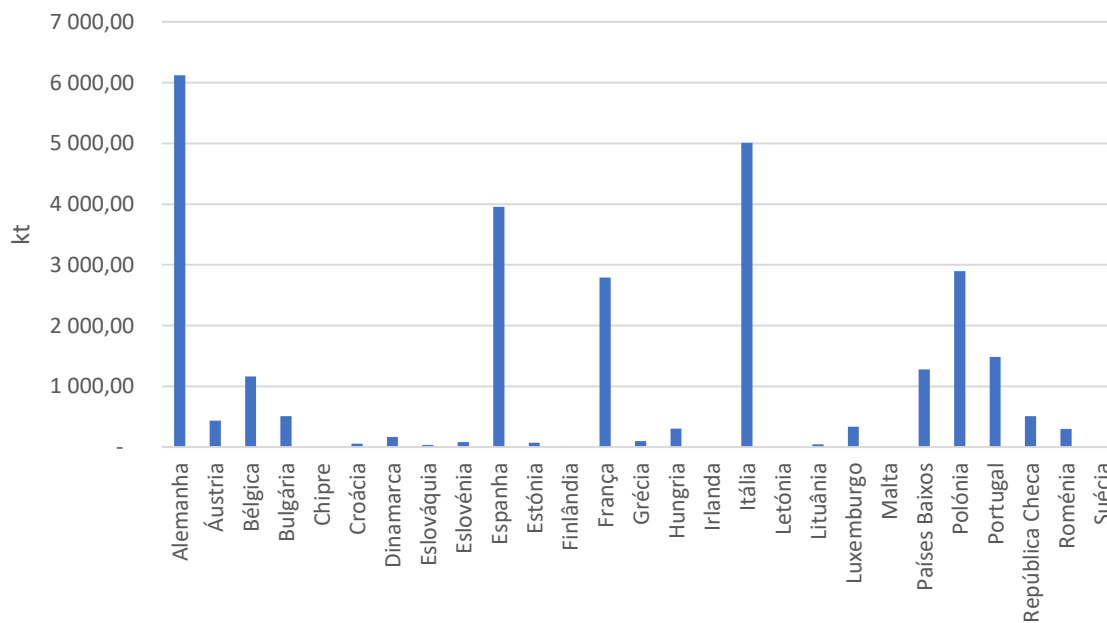


Figura 17 - Produção média anual de vidro, por país, para o setor da construção de edifícios

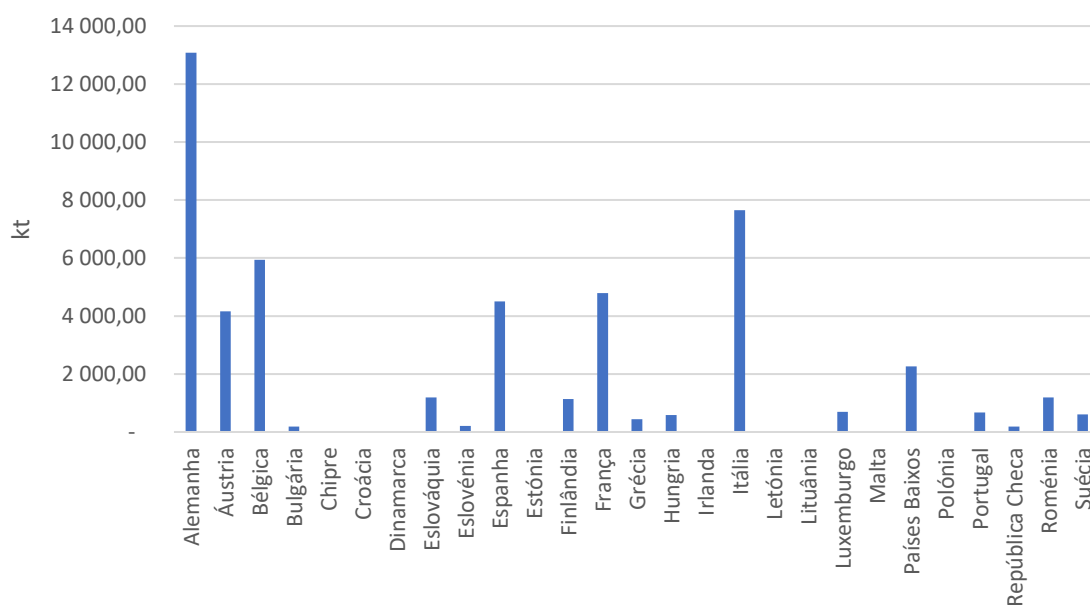


Figura 18 - Produção média anual de aço, por país, para o setor da construção de edifícios

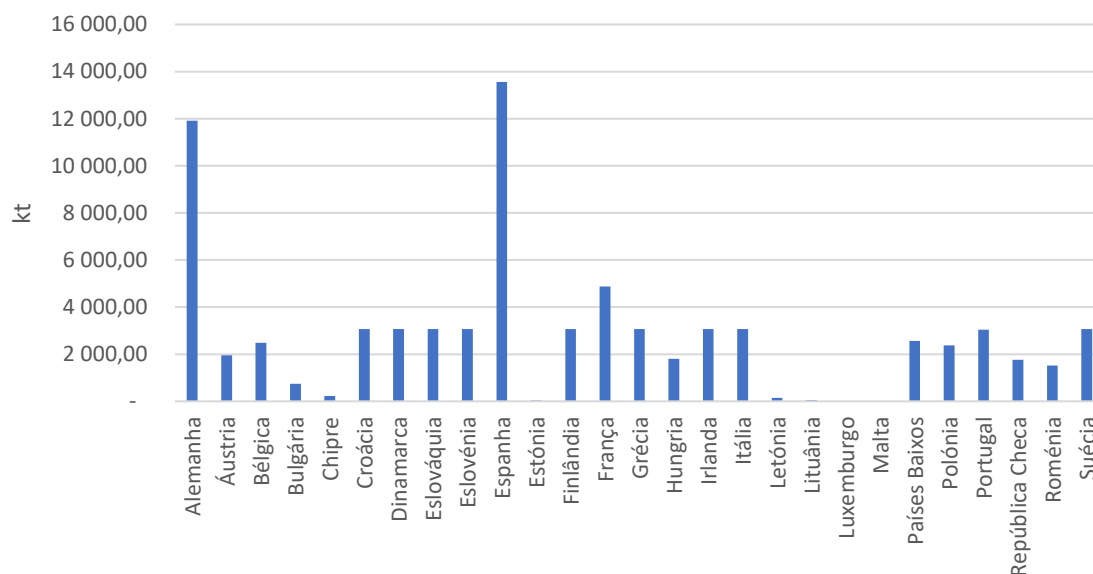


Figura 19 - Produção média anual de tijolos, telhas e ladrilhos, por país, para o setor da construção de edifícios

Na Tabela 22 está representada a produção média anual de materiais de construção, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. Segundo a tabela, a Alemanha é a maior produtora de materiais de construção para o setor em estudo, produzindo cerca de 43 648 kt por ano. A Espanha é a segunda maior produtora destes materiais, produzindo mais de 30 000 kt por ano. A Itália é a terceira maior produtora de materiais de construção, produzindo, em média, cerca de 23 000 kt por ano, seguida pela França que produz quase

19 000 kt de materiais por ano. A Bélgica e a Polónia são responsáveis por emitir 12 000 kt cada um. Dos restantes países, apenas a Áustria, Eslováquia, Grécia, Países Baixos, Portugal e Roménia ultrapassam as 5 000 kt de matérias produzidos, sendo que os outros países apresentam emissões abaixo deste valor.

Tabela 22 - Quantidade média anual de materiais produzidos, na UE, para o setor da construção de edifícios

País	Cimento (kt)	Vidro (kt)	Aço (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos (kt)	Total (kt)
Alemanha	12 534,57	6 123,41	13 077,02	11 913,82	43 648,82
Áustria	1 711,43	436,27	4 165,49	1 956,75	8 269,95
Bélgica	2 518,92	1 161,23	5 933,61	2 479,01	12 092,76
Bulgária	1 063,76	508,18	191,34	737,99	2 501,27
Chipre	754,42	-	-	222,55	976,96
Croácia	1 136,21	56,71	22,81	3 064,95	4 280,68
Dinamarca	1 073,16	168,17	-	3 064,95	4 306,28
Eslováquia	1 427,32	35,68	1 190,95	3 064,95	5 718,90
Eslovénia	463,88	82,32	211,00	3 064,95	3 822,16
Espanha	8 755,53	3 954,95	4 501,92	13 565,53	30 777,93
Estónia	251,81	71,95	-	34,67	358,42
Finlândia	571,07	4,18	1 136,37	3 064,95	4 776,57
França	6 502,61	2 793,29	4 793,88	4 877,55	18 967,33
Grécia	3 214,55	98,00	445,46	3 064,95	6 822,96
Hungria	-	303,26	583,77	1 803,56	2 690,59
Irlanda	1 731,24	-	-	3 064,95	4 796,19
Itália	7 559,66	5 007,44	7 653,03	3 064,95	23 285,09
Letónia	545,54	-	-	140,19	685,73
Lituânia	537,23	43,46	-	44,61	625,30
Luxemburgo	401,24	334,84	694,18	-	1 430,27
Malta	-	-	-	-	-
Países Baixos	6,28	1 278,65	2 262,94	2 559,21	6 107,08
Polónia	7 089,00	2 896,43	-	2 372,04	12 357,47
Portugal	2 136,04	1 483,63	670,84	3 041,28	7 331,79
República Checa	1 063,76	508,18	191,34	1 769,53	3 532,81
Roménia	3 649,48	297,72	1 193,70	1 520,92	6 661,82
Suécia	1 269,61	-	609,08	3 064,95	4 943,65

A Figura 20 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção anual de cimento, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. Pela figura compreende-se que a Alemanha é a maior emissora de CO<sub>2</sub>, produzindo mais de 6 500 kt de carbono por ano. Tal deve-se ao facto de ser a maior produtora de cimento na União Europeia. A Espanha é a segunda maior emissora de CO<sub>2</sub>, produzindo mais de 4 500 kt de CO<sub>2</sub> por ano. Países como a Itália e a Polónia emitem perto de 4 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano. Destaca-se também a França, que ultrapassa as 3 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano, a Grécia e a Roménia, com mais de 3 000 kt de cimento produzido por ano. Dos restantes países, apenas a Bélgica e Portugal ultrapassam as 2 000 kt produzidas. Os Países Baixos apresentam os valores mais baixos de produção anual (cerca de 6,28 kt). Malta é o único país que não apresenta emissões de carbono associadas ao cimento, visto não apresentar quaisquer dados de produção.

Na Figura 21 estão representadas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção anual de aço, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. A Alemanha, sendo a maior produtora de aço na União Europeia, é responsável pelo maior número de emissões de CO<sub>2</sub> (cerca de 6 000 kt). A França é a segunda maior emissora, libertando quase 4 000 kt de carbono todos os anos. A Áustria, apesar de ser a sexta maior produtora de aço para o setor da construção de edifícios, emite perto de 3 500 kt de CO<sub>2</sub> todos os anos, estando acima da Espanha, Bélgica e Itália, que produzem mais aço anualmente. Este aumento nas emissões deve-se à intensidade carbónica superior do processo de produção deste material na Áustria, comparativamente aos países supramencionados. Dos restantes países, apenas a Bélgica, a Eslováquia e a Roménia é que emitem mais de 1 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano, sendo que os outros libertam quantidades de CO<sub>2</sub> bastante reduzidas. O Chipre, a Dinamarca, a Estónia, a Irlanda, a Letónia, a Lituânia e Malta não apresentaram valores de produção de aço, por isso não tiveram emissões de CO<sub>2</sub> associadas.

A Figura 22 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção anual de vidro, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. A Alemanha, sendo a maior produtora de vidro na União Europeia, para o setor da construção de edifícios, emite cerca de 700 kt de CO<sub>2</sub> por ano. A Itália é o segundo país mais poluidor na produção de vidro, produzindo cerca de 500 kt de CO<sub>2</sub> anualmente. A Polónia e a França apresentam emissões de CO<sub>2</sub> que rondam as 450 kt. A Espanha, apesar de ser a segunda maior produtora de vidro na União Europeia, emite menos carbono que os países referidos anteriormente (400 kt). Os restantes países apresentam emissões mais reduzidas, sendo Portugal e a Bélgica os únicos que emitem mais de 100 kt de CO<sub>2</sub>. O Chipre, a Irlanda e Malta não apresentam quaisquer valores de produção de vidro no país, pelo que, também, não apresentam valores de CO<sub>2</sub>.

A Figura 23 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção anual de tijolos, telhas e ladrilhos, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. Apesar da Espanha ser a maior produtora, deste material, na União Europeia, a Alemanha é o país que emite mais CO<sub>2</sub>, anualmente, na sua produção. Tal deve-se ao facto da Alemanha apresentar um fator de emissão superior à Espanha, para o processo de produção de tijolos. Por sua vez, a Espanha emite cerca de 450 kt de CO<sub>2</sub> anualmente. A França é o terceiro maior emissor de carbono associado à produção deste material, ultrapassando as 200 kt por ano. Os restantes países encontram-se abaixo das 200 kt de CO<sub>2</sub> libertado. Luxemburgo e Malta não apresentaram dados de produção de tijolos, telhas e ladrilhos, pelo que não têm emissões de carbono associadas.

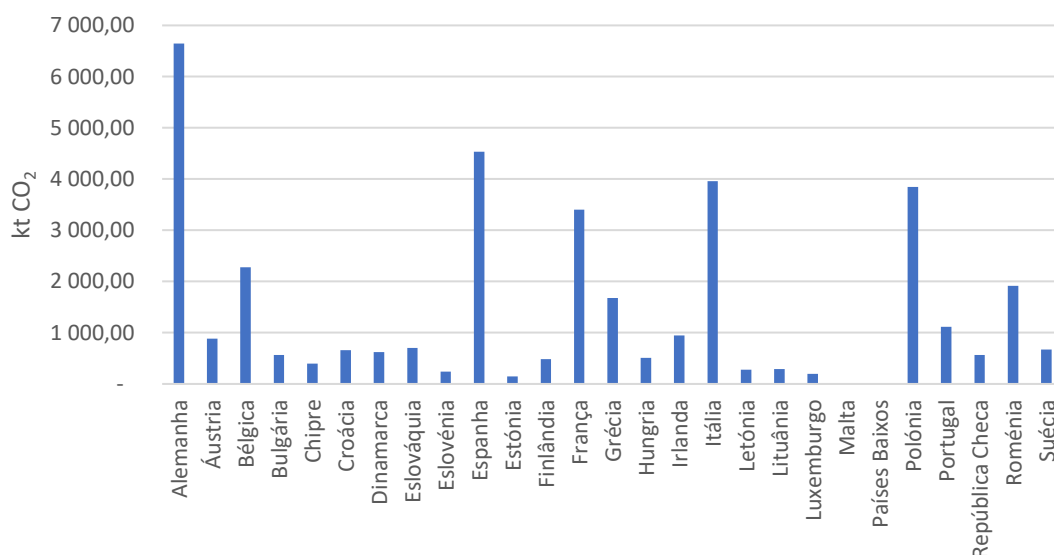


Figura 20 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de cimento, por país, para o setor da construção de edifícios

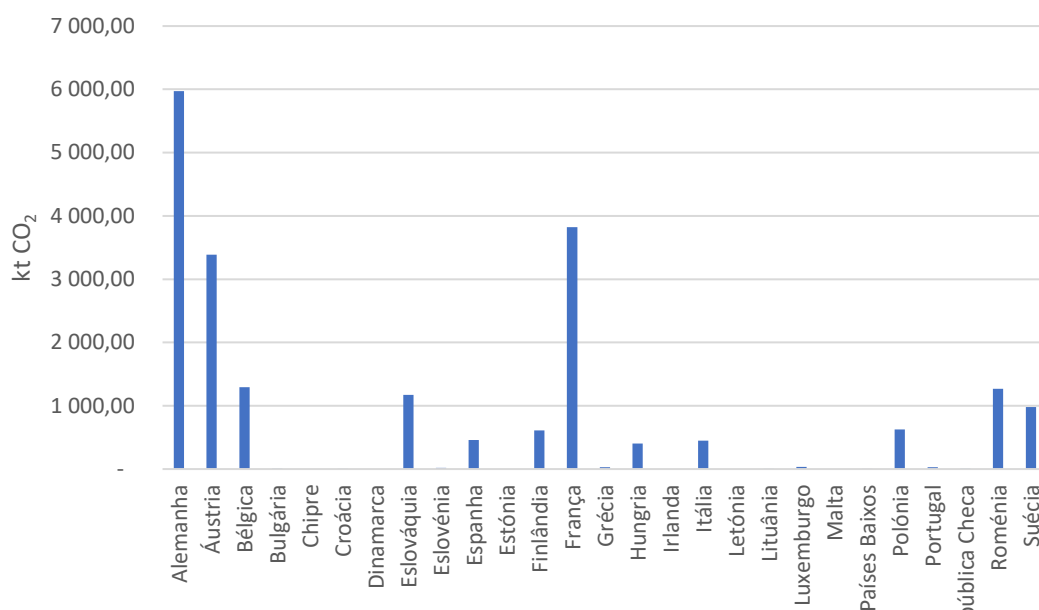


Figura 21 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de aço, por país, para o setor da construção de edifícios

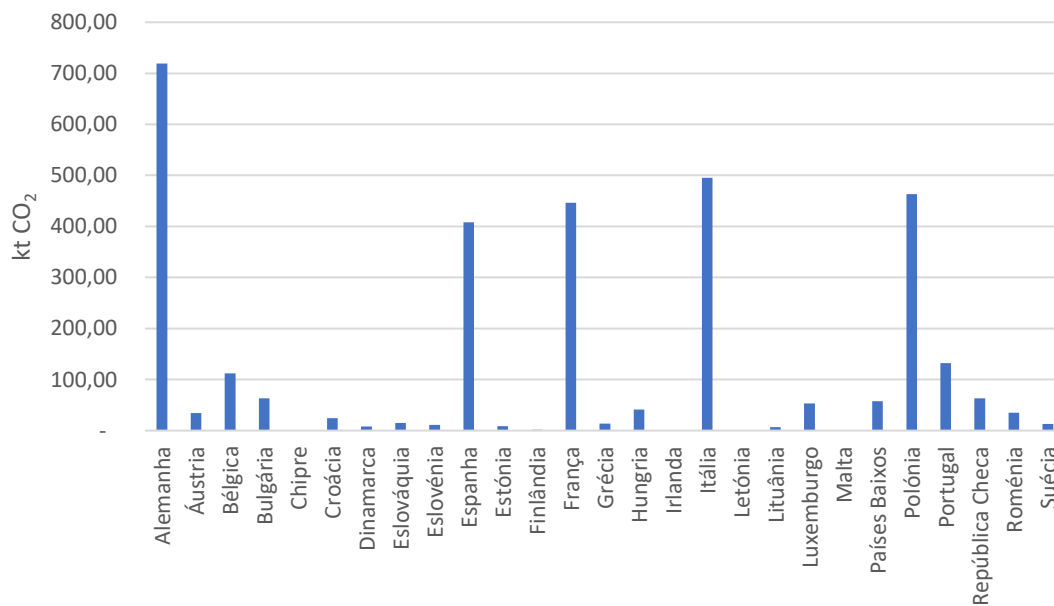


Figura 22 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de vidro, por país, para o setor da construção de edifícios

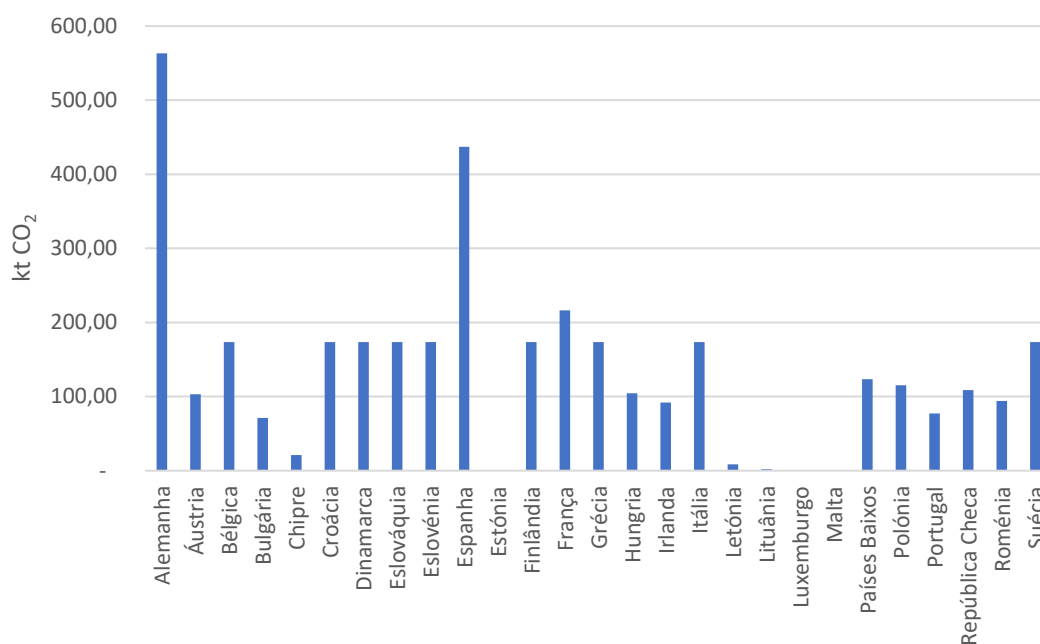


Figura 23 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de tijolos, telhas e ladrilhos, por país, para o setor da construção de edifícios

A Tabela 23 mostra as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção anual de materiais de construção, em kt, para o setor da construção de edifícios, por país da União Europeia. A Alemanha é a maior emissora de CO<sub>2</sub> na UE, nesta fase, emitindo quase 14 000 kt de carbono anualmente. A França emite quase 8 000 kt de CO<sub>2</sub>, por ano, na produção de materiais de construção. Por sua vez, a Espanha emite, quase, 6 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano, sendo que a Polónia e Itália emitem, cada uma, 5 000 kt. A Áustria e a Bélgica emitem, sensivelmente, 4 000 kt de carbono. Os restantes países, com exceção da Roménia e Eslováquia, emitem menos de 2 000 kt de carbono por ano, na produção e materiais de construção para o setor da construção de edifícios.

Tabela 23 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção, por país, para o setor da construção de edifícios

País	Cimento CO <sub>2</sub> (kt)	Vidro CO <sub>2</sub> (kt)	Aço CO <sub>2</sub> (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos CO <sub>2</sub> (kt)	Total CO <sub>2</sub> (kt)
Alemanha	6 643,32	718,92	5 970,25	563,25	13 895,74
Áustria	885,26	34,15	3 389,30	103,03	4 411,73
Bélgica	2 274,95	112,26	1 295,32	173,49	3 856,02
Bulgária	563,55	63,13	10,44	71,16	708,27
Chipre	394,61	-	-	20,93	415,53
Croácia	662,47	24,41	1,62	173,54	862,04

País	Cimento CO <sub>2</sub> (kt)	Vidro CO <sub>2</sub> (kt)	Aço CO <sub>2</sub> (kt)	Tijolos, telhas e ladrilhos CO <sub>2</sub> (kt)	Total CO <sub>2</sub> (kt)
Dinamarca	624,98	8,10	-	173,54	806,63
Eslováquia	702,13	15,07	1 172,91	173,54	2 063,66
Eslovénia	238,81	11,19	19,43	173,54	442,97
Espanha	4 532,08	408,16	461,33	436,99	5 838,56
Estónia	147,74	8,63	-	0,52	156,90
Finlândia	485,72	1,68	608,39	173,54	1 269,33
França	3 403,34	446,59	3 824,11	216,20	7 890,23
Grécia	1 680,11	13,94	26,88	173,54	1 894,47
Hungria	511,43	40,95	401,97	104,53	1 058,89
Irlanda	946,30	-	-	91,95	1 038,25
Itália	3 955,76	495,27	447,83	173,54	5 072,39
Letónia	280,73	0,48	-	8,58	289,79
Lituânia	289,03	6,64	0,50	2,20	298,36
Luxemburgo	197,40	53,10	34,22	-	284,72
Malta	-	-	-	-	-
Países Baixos	3,17	57,37	5,98	123,35	189,86
Polónia	3 846,23	463,43	626,08	115,27	5 051,00
Portugal	1 112,55	132,36	26,70	77,35	1 348,97
República Checa	563,55	63,13	10,44	108,94	746,06
Roménia	1 914,01	35,20	1 269,03	94,13	3 312,37
Suécia	674,69	13,12	979,10	173,54	1 840,45

As emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção, por VAB no setor da construção (kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros), estão representadas na Figura 24. É visível como a Grécia é o país com mais intensidade carbónica por VAB (736 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros), visto apresentar um dos VAB mais baixos da UE (2,57 mil milhões de euros) e emitir bastante CO<sub>2</sub> nesta fase. Chipre, Croácia, Eslováquia e Bulgária apresentam emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por VAB do setor da construção, acima das 300 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Tal deve-se, também, ao VAB consideravelmente baixo para o carbono que é emitido. Dos restantes países, apenas a Roménia ultrapassa as 200 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Segundo este indicador, Alemanha, França e Espanha apresentam emissões abaixo das 100 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros, pois apresentam VAB do setor da construção muito elevados, comparativamente aos outros países.

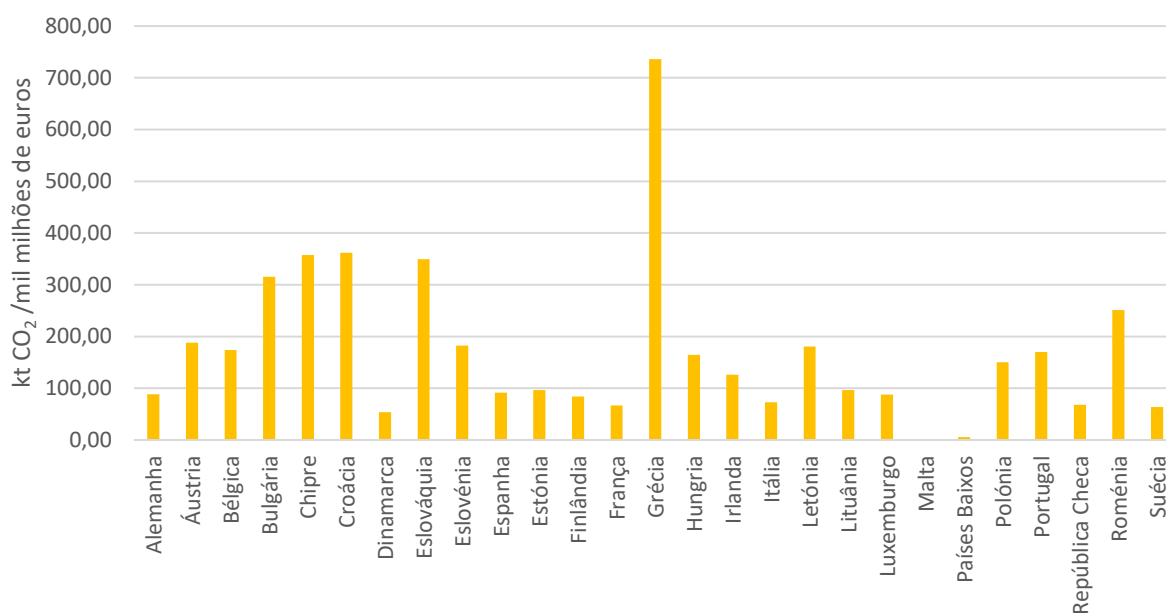


Figura 24 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção por VAB no setor da construção

Na Figura 25 estão apresentadas as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de materiais de construção, por área ocupada por edifícios, per capita (ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap)). A Alemanha emite mais de 250 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), que se trata de um valor elevado, relativamente aos outros países na Europa, devido às grandes quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas anualmente nesta fase. Espanha, França, Polónia e Roménia apresentam valores ligeiramente abaixo dos 150 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap). No caso da Roménia, tal deve-se à baixa área ocupada por edifícios, per capita, verificada no país, enquanto para Espanha, França e Polónia os valores são explicados pelas emissões elevadas na produção de materiais de construção para o setor. Destaca-se também Itália, que apresenta cerca de 100 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), Bélgica e Áustria, com 85 e 80 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), respetivamente. Fora a Eslováquia, e segundo o indicador em questão, os restantes países apresentam emissões abaixo das 50 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap).

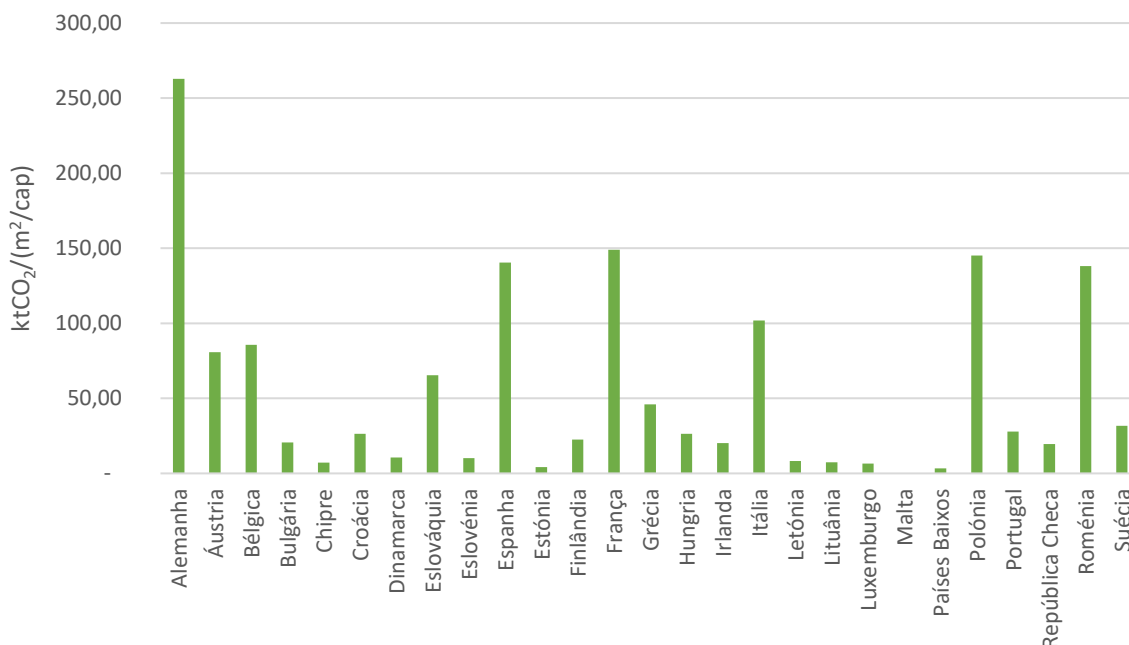


Figura 25 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de produção de materiais de construção para o setor da construção de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita

### 4.3 Transporte de materiais de construção

A Figura 26 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, em kt, associadas ao transporte de materiais produzidos para o setor da construção de edifícios, por país da UE. Novamente a Alemanha é o país com o maior volume de emissões, ultrapassando as 450 kt/ano de CO<sub>2</sub>. Espanha é o segundo país com mais emissões anuais, cerca de 435 kt de carbono, e a Itália o terceiro, responsável por 370 kt de carbono por ano. França contempla 225 kt de emissões associadas ao transporte de materiais, por ano, para o setor da construção de edifícios. A Bélgica e a Polónia apresentam um número de emissões semelhantes, ambos rondando as 150 kt. Dos restantes países, apenas a Finlândia, Grécia, Portugal, Roménia e Suécia ultrapassam as 50 kt de emissões de carbono, por ano.

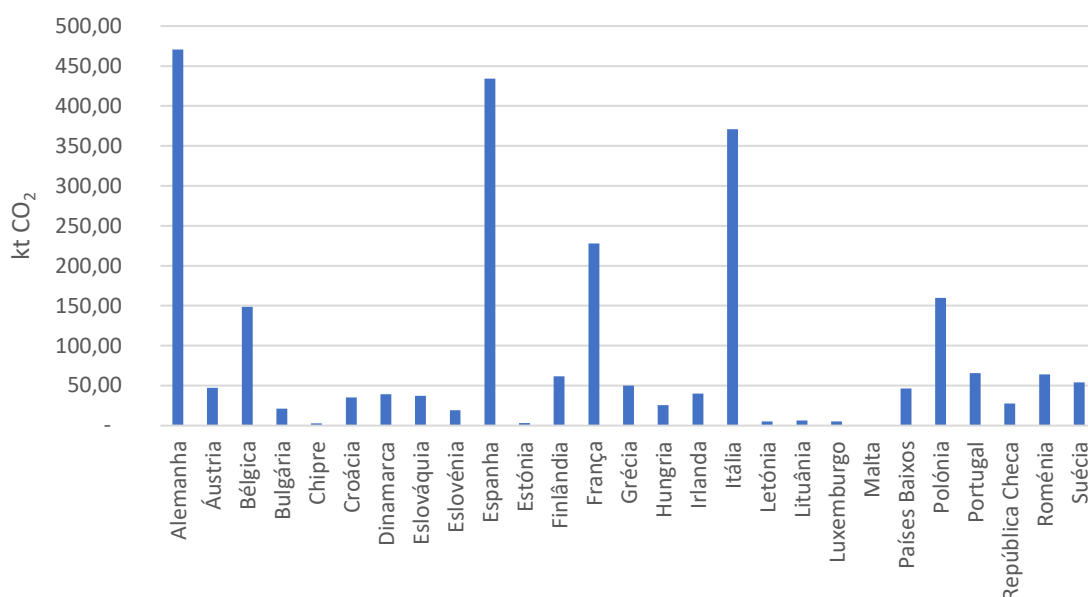


Figura 26 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas ao transporte de materiais de construção, por país, para o setor da construção de edifícios

## 4.4 Construção

O consumo de energia na fase de construção do setor da construção de edifícios, por país, encontra-se explícito na Figura 27. Alemanha, França e Espanha demonstram valores de consumo de energia superiores aos outros países da UE, sendo que a Alemanha ultrapassa os 29 000 TJ de energia consumida em 2021. A França consumiu 18 500 TJ de energia, para a construção de edifícios, e a Espanha consumiu quase 15 000 TJ. Os outros países apresentaram consumos de energia mais reduzidos, destacando-se os Países Baixos, com quase 8 000 TJ de energia consumida nesta fase, a Roménia e a Finlândia, tendo ambos consumido 5 000 TJ de energia, individualmente. Não foram encontrados dados para 6 países: Irlanda, Grécia, Itália, Luxemburgo, Polónia e Suécia.

Em todos os países, existiu um consumo baixo de energia proveniente de combustíveis fósseis sólidos, energias renováveis e biocombustíveis, sendo que vários países apresentam valores nulos de energia consumida através destas fontes. O petróleo, e outros produtos petrolíferos, são a fonte de energia mais consumida por quase todos os países, com destaque para a Alemanha e França, que consumiram 16 850 e 11 400 TJ (respetivamente), Espanha e Países Baixos, tendo ambos consumido cerca de 5 850 TJ. A Finlândia consumiu cerca de 4 500 TJ de energia proveniente de petróleo e outros produtos petrolíferos, o que corresponde a 90% da energia consumida pelo país. Países como a Roménia, Áustria, Hungria, Dinamarca e

Croácia apresentam consumos mais reduzidos, mas uma clara incidência nesta fonte de energia. O gás natural foi outra fonte utilizada por quase todos os países, mas em menores quantidades. Os países que apresentam consumos superiores são a Alemanha (7 300 TJ), Espanha (5 000 TJ) e a França (2 700 TJ). Por fim, a eletricidade foi a única fonte de energia consumida por todos os países, ainda que em quantidades mais reduzidas. Alemanha, Espanha e França são os países com maiores consumos de energia provenientes da rede elétrica nacional, ultrapassando os 4 000 TJ respetivamente.

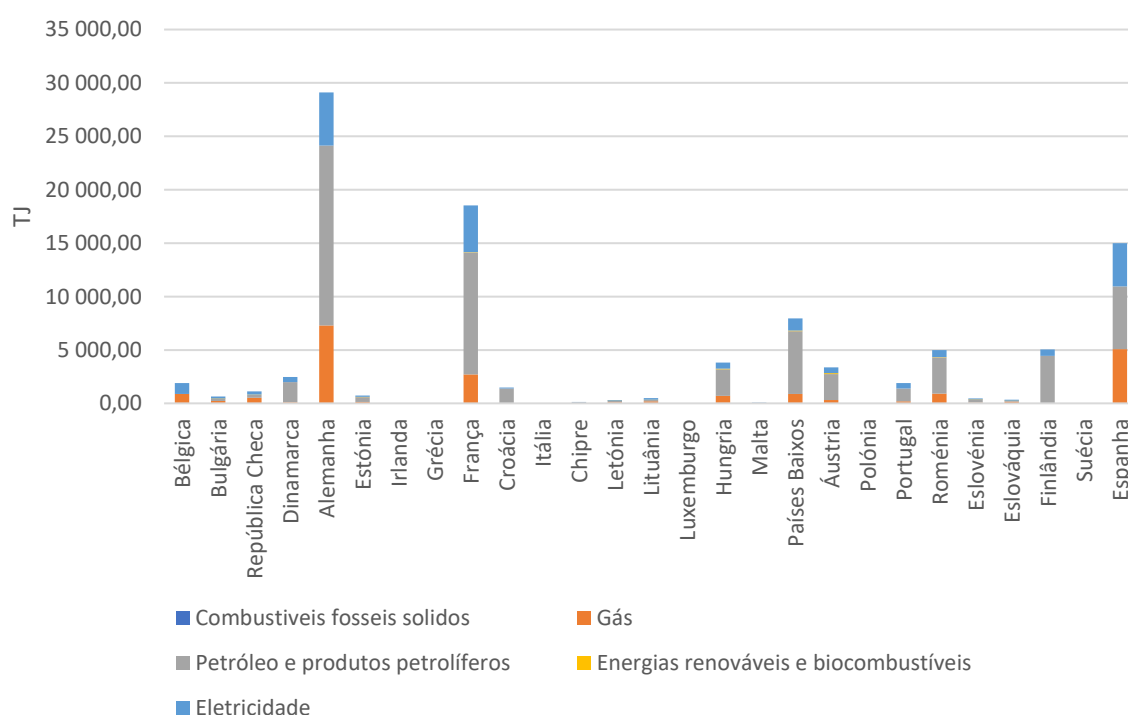


Figura 27 - Consumo médio anual de energia na fase de construção de edifícios, por país

A Figura 28 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> em kt, por país, associadas à fase de construção no setor da construção de edifícios. Mais uma vez a Alemanha que emite, em média, mais de 2 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano, é o país com maior volume de emissões. França e Espanha também emitem, anualmente, elevadas quantidades de CO<sub>2</sub>. França emite, em média, mais de 1 000 kt por ano na fase de construção dos edifícios, enquanto a Espanha emite 910 kt por ano. Estes valores devem-se ao elevado consumo de energia verificado. Os Países Baixos, a Finlândia, a Roménia e a Hungria apresentam valores mais reduzidos, comparativamente aos países anteriormente referidos. No entanto, as suas emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> devem-se, também, ao consumo elevado de petróleo e outros produtos petrolíferos como fonte de energia. Existem, no entanto, países que apresentam consumos de energia, por ano, superiores,

mas emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> mais baixas, como é o caso da República Checa, Eslováquia e Letónia. Uma maior utilização de fontes renováveis e gás natural, ao invés de petróleo e outros produtos petrolíferos, leva a que as emissões de CO<sub>2</sub> sejam mais reduzidas para estes países, comparativamente a outros que tenham um consumo semelhante ou ligeiramente superior.

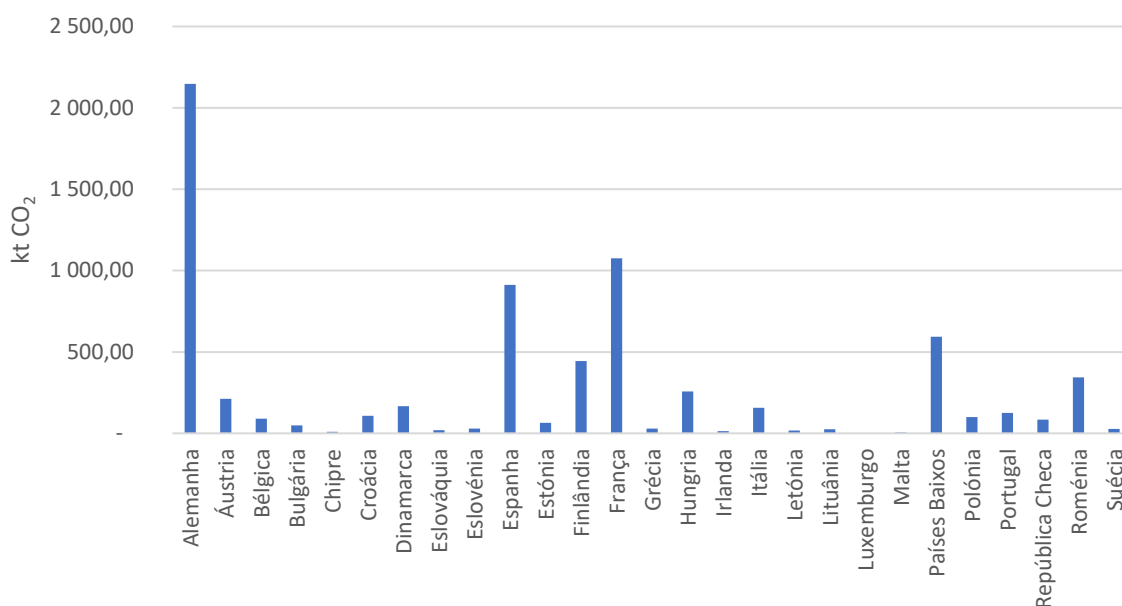


Figura 28 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de construção de edifícios

Na Figura 29 estão expressas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à fase de construção por VAB no setor da construção (kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros). A Croácia é o país com maior intensidade carbónica do setor da construção (158 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros), devido emitir quantidades altas de CO<sub>2</sub> para um VAB reduzido. A mesma lógica se aplica à Hungria e à Bulgária, ambas com um VAB reduzido e com emissões acima das 120 kt CO<sub>2</sub>, por mil milhões de euros. A Finlândia ultrapassa as 100 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros, dada as suas elevadas emissões. Adicionalmente, Roménia, Estónia e Países Baixos são os únicos países que ultrapassam as 50 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Os restantes países apresentam baixas emissões e/ou VAB superiores para o setor da construção, o que explica as emissões abaixo das 50 kt.

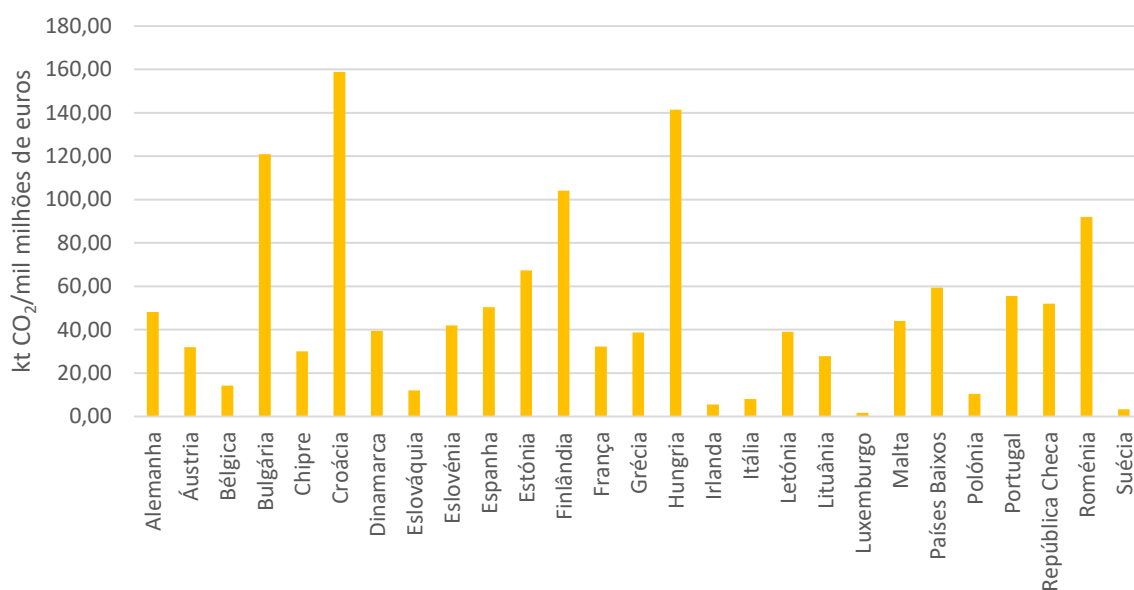


Figura 29 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de construção de edifícios, por valor acrescentado bruto do setor da construção

A Figura 30 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à fase de construção por área ocupada por edifícios, per capita em ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap). Estima-se para a Alemanha mais de 40 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), valores muito elevados relativamente aos outros países na UE devido às grandes quantidades de CO<sub>2</sub> emitido anualmente nesta fase. Para Espanha e França estimam-se valores um pouco acima das 20 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap). Apesar de a França ter mais emissões de CO<sub>2</sub> anuais, a Espanha tem ligeiramente, mais emissões por área ocupada por edifícios, per capita, dado ter uma área edificada per capita superior. Para a Roménia calculam-se pouco menos de 15 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap) anuais, para a fase de construção. Os restantes países têm emissões de CO<sub>2</sub> por área edificada, per capita, mais reduzidas, destacando-se os Países Baixos com 10 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap).

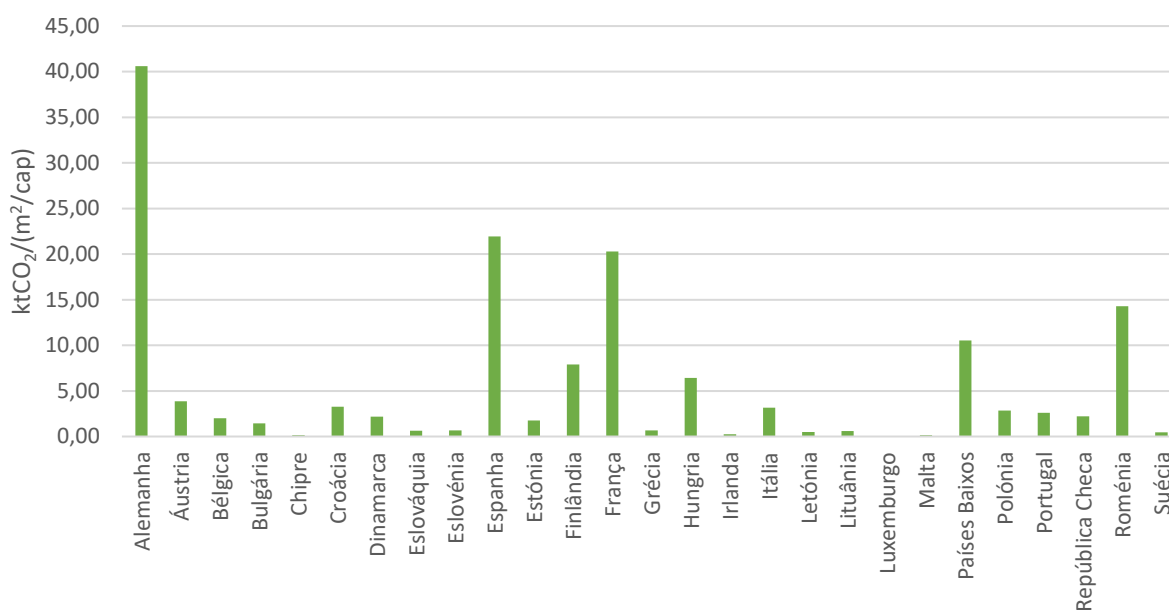


Figura 30 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de construção de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita

## 4.5 Demolição

Na Figura 31, apresenta-se o consumo de energia resultante da fase de demolição do setor da construção de edifícios, por país. Alemanha, França e Espanha apresentam valores de consumo de energia superiores aos outros países da UE, sendo que a Alemanha ultrapassa os 3 600 TJ de energia consumida em 2021. A França consumiu 2 300 TJ de energia, para a construção de edifícios, e a Espanha consumiu quase 1 875 TJ. Os outros países apresentaram, consumos de energia mais reduzidos para esta fase, destacando-se os Países Baixos (995 TJ), a Roménia (620 TJ) e a Finlândia (639 TJ). Tal como na fase de construção, não foram encontrados dados para 6 países: Irlanda, Grécia, Itália, Luxemburgo, Polónia e Suécia.

O petróleo, e outros produtos petrolíferos, são a fonte de energia mais consumida por quase todos os países na fase de demolição. Alemanha e França são os países com consumos mais elevados, tendo consumido 2 100 e 1 400 TJ, respetivamente. Espanha e Países Baixos apresentam um consumo semelhante, estando este a rondar os 730 TJ. Países como a Finlândia, Roménia, Áustria, Hungria, Dinamarca e Croácia apresentam consumos mais reduzidos, mas uma clara incidência nesta fonte de energia. O gás natural foi utilizado por quase todos os países, mas em menores quantidades. Os países que apresentam consumos superiores são a Alemanha (912 TJ), Espanha (635 TJ) e a França (340 TJ). Já a eletricidade foi a única fonte de energia consumida por todos os países, ainda que em quantidades mais reduzidas. Alemanha,

Espanha e França são os países com maiores consumos de energia provenientes da rede elétrica nacional, ultrapassando os 500 TJ respetivamente. Os outros países apresentam consumos de eletricidade comparativamente mais baixos para a demolição de edifícios. Além disso, existiu um consumo muito baixo (ou nulo) de combustíveis fósseis sólidos, energias renováveis e biocombustíveis em todos os países.

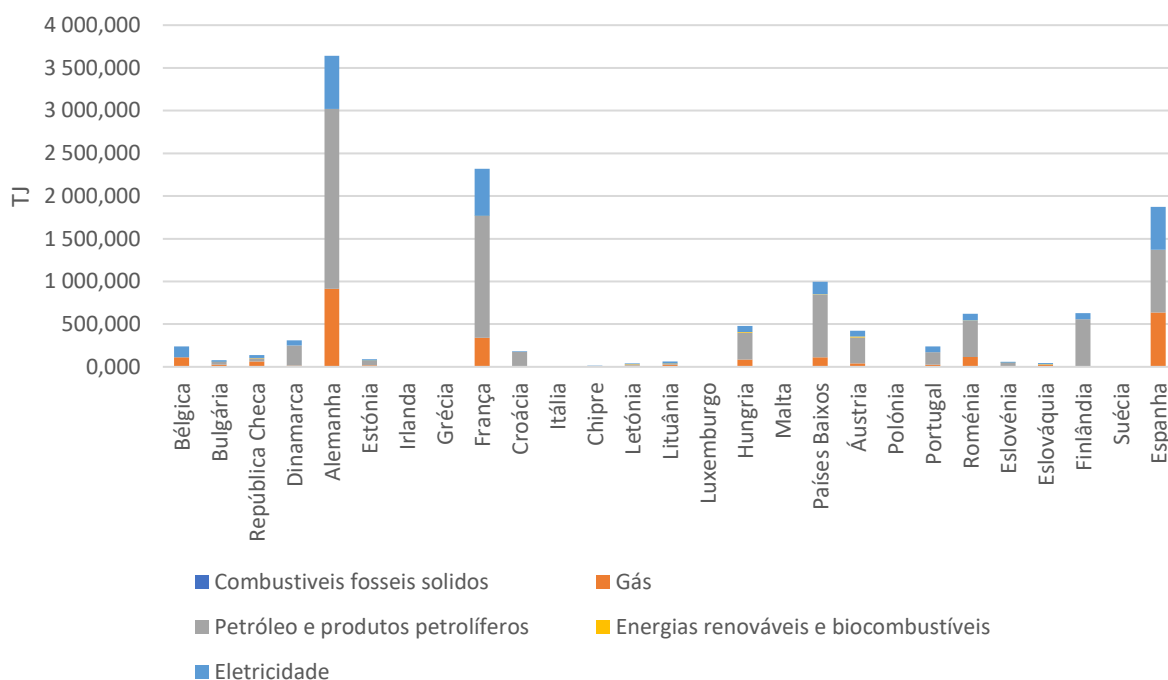


Figura 31 - Consumo médio anual de energia na fase de demolição de edifícios, por país

Na Figura 32 podem observar-se as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> por país, associadas à fase de demolição no setor da construção de edifícios. Também nesta fase a Alemanha é o estado-membro com mais emissões (em média, mais de 250 kt CO<sub>2</sub> por ano). Este valor deve-se, essencialmente, ao facto de grande parte desta energia ser proveniente de petróleo e outros produtos petrolíferos, com elevados fatores de emissão de carbono associados. França e Espanha também emitem, anualmente, elevadas quantidades de CO<sub>2</sub> (França 135 kt CO<sub>2</sub> /ano e Espanha 114 kt CO<sub>2</sub> /ano). Países como a Finlândia, os Países Baixos, a Roménia e a Hungria apresentam valores mais reduzidos. No entanto, as suas emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> devem-se, também, ao consumo elevado de petróleo e outros produtos petrolíferos como fonte de energia. No entanto, para países como a República Checa, Eslováquia e Letónia, os consumos de energia, por ano, são superiores, mas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> são mais baixas. Tal deve-se a uma utilização superior de fontes renováveis e gás natural.

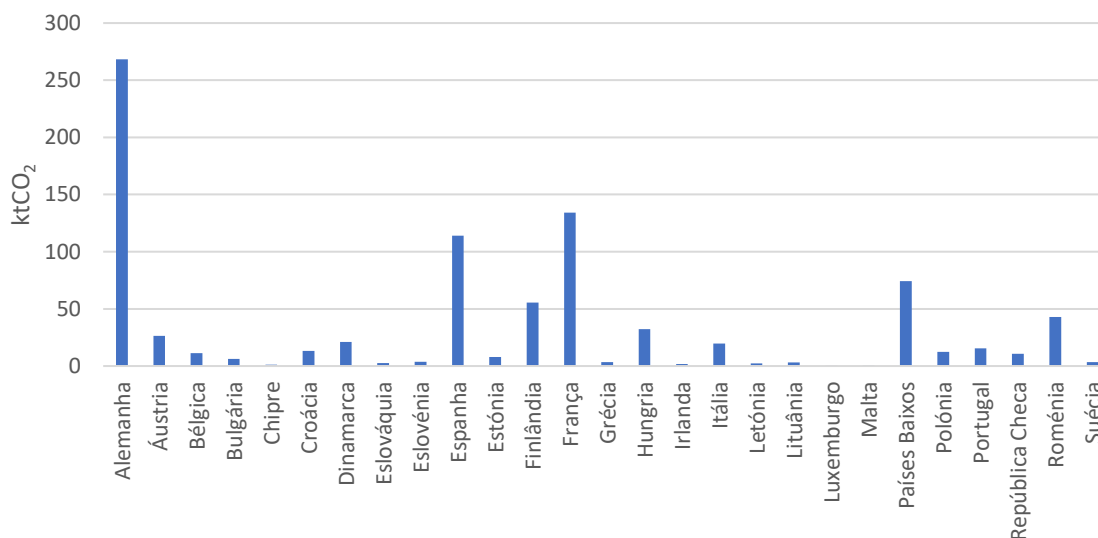


Figura 32 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de demolição de edifícios

Na Figura 33 estão expressas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> associadas à fase de construção por VAB no setor da construção (kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros). Novamente a Croácia é o país com maior intensidade carbónica (158 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros), seguindo-se a Hungria e à Bulgária, ambas com um VAB reduzido e com emissões acima das 120 kt CO<sub>2</sub>, por mil milhões de euros. A Finlândia ultrapassa as 100 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros, dadas as suas elevadas emissões. Adicionalmente, Roménia, Estónia e Países Baixos são os únicos países que ultrapassam 50 kt CO<sub>2</sub>/mil milhões de euros. Os restantes países apresentam emissões abaixo das 50 kt.

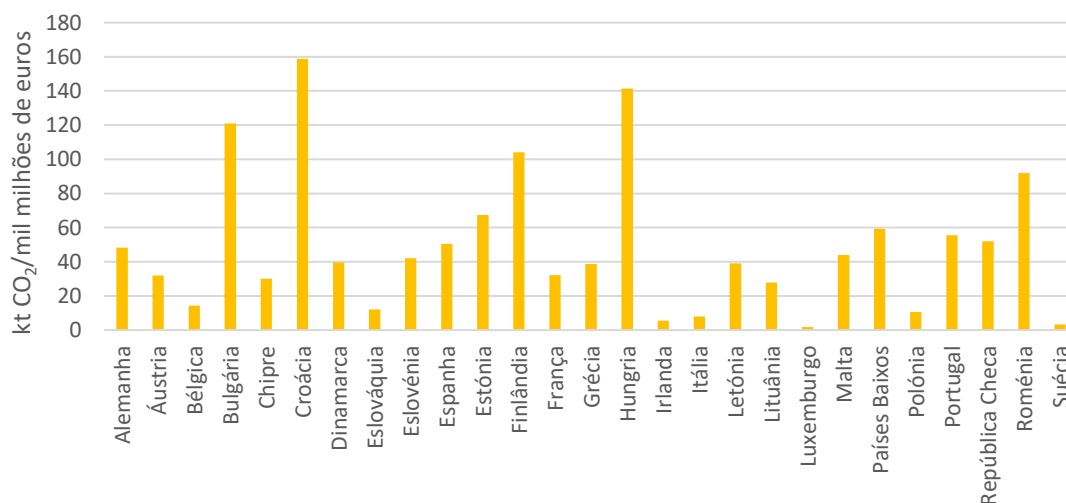


Figura 33 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de demolição de edifícios, por valor acrescentado bruto do setor da construção

A Figura 34 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à fase de demolição por área ocupada por edifícios, per capita (ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap)). Para a Alemanha estimam-se pouco mais de 5 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap), valores muito elevados (relativamente aos outros países na UE), seguida pela Espanha e França com valores um pouco acima das 2,5 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap). Apesar de a França apresentar mais emissões de CO<sub>2</sub> anuais, a Espanha tem, ligeiramente, mais emissões por área ocupada por edifícios, per capita, dado ter uma área edificada per capita superior. No caso da Roménia calcula-se pouco menos de 2 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap) anuais, para a fase de construção. Os restantes países têm emissões de CO<sub>2</sub> por área edificada, per capita, mais reduzidas, destacando-se os Países Baixos que ultrapassam, ligeiramente, a 1 ktCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>/cap).

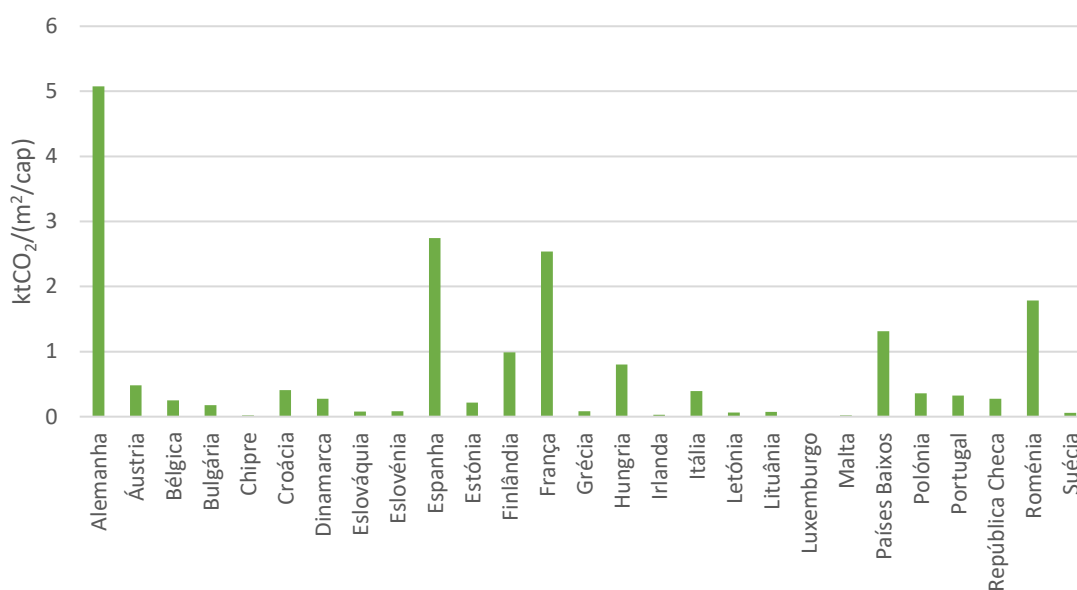


Figura 34 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de demolição de edifícios, por área ocupada por edifícios, per capita

## 4.6 Transporte de resíduos

A Figura 35 representa as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, em kt e por país, associadas ao transporte de resíduos, oriundos do setor da construção de edifícios, para tratamento. A Alemanha é o país que transporta mais resíduos de construção, ultrapassando as 40 000 kt transportados. A França é o segundo país com mais resíduos transportados para tratamento (32 500 kt). Por sua vez, Itália é o terceiro país com mais resíduos transportados (21 500 kt). Os restantes países têm quantidade transportadas, consideravelmente mais baixas, não ultrapassando as 5 000 kt, com exceção dos Países Baixos (10 000 kt) e Espanha (7 000 kt). Estas diferenças

podem dever-se não só à diferente dimensão dos países e da sua atividade de demolição, mas também a falhas no reporte de resíduos produzidos.

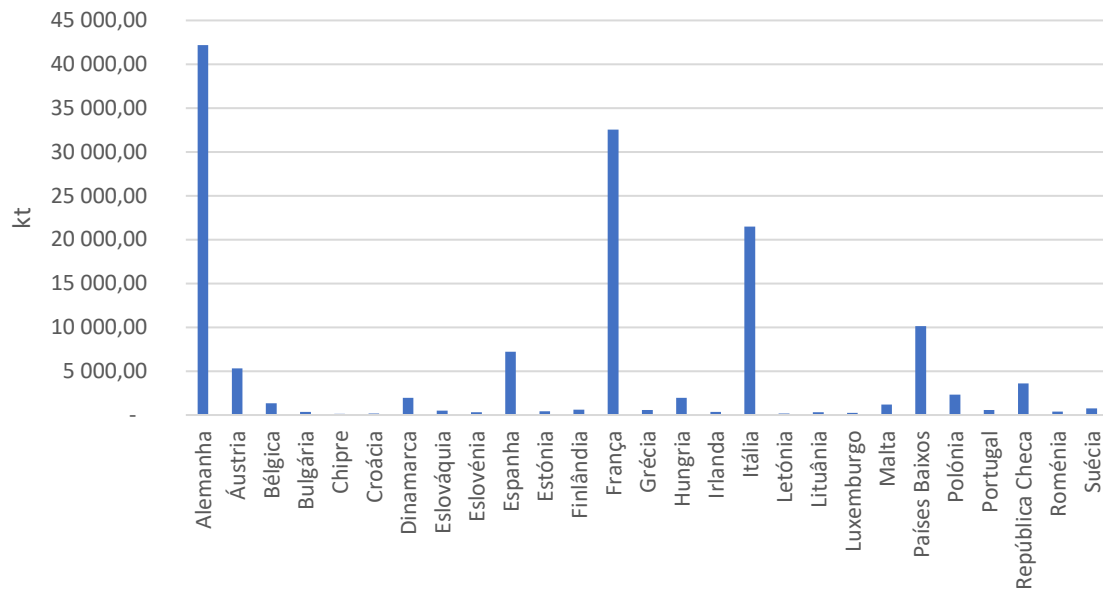


Figura 35 - Quantidade média anual de resíduos de edifícios transportados para tratamento, por país

Na Figura 36 estão expressas as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, em kt e por país, resultantes do transporte de resíduos, associados ao setor da construção de edifícios. A Alemanha é o país que apresenta o maior volume de emissões nesta fase, ultrapassando as 450 kt de CO<sub>2</sub> emitidas anualmente. França é o segundo país com mais emissões (~390 kt CO<sub>2</sub>/ano) e a Itália o terceiro (340 kt CO<sub>2</sub>/ano). Os restantes países apresentam emissões mais reduzidas, com Espanha a produzir cerca de 100 kt de carbono, anualmente, e os Países Baixos a emitir cerca de 75 kt de CO<sub>2</sub> por ano.

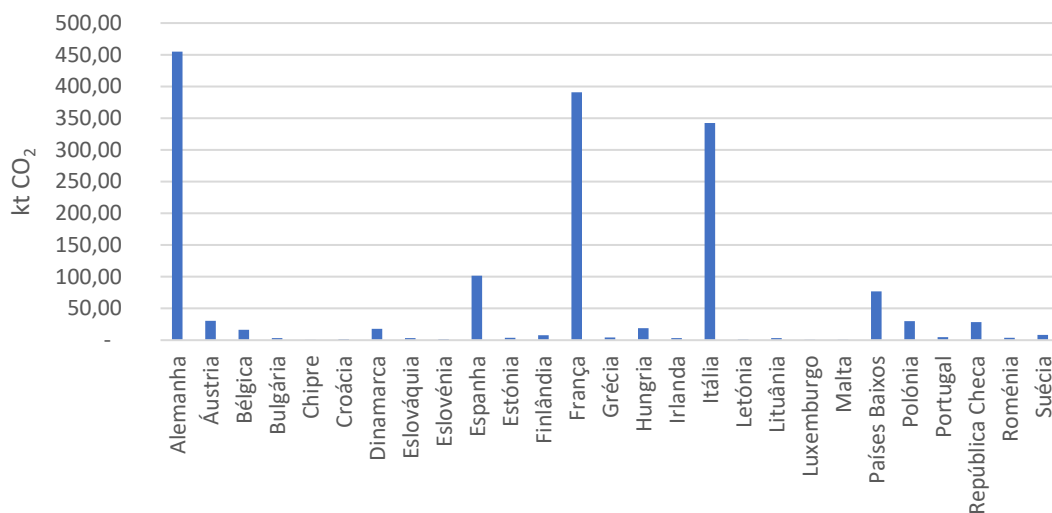


Figura 36 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, por país, associadas à fase de transporte de resíduos de edifícios

## 4.7 Análise da pegada ao longo da cadeia de valor

A Figura 37 e a Figura 38 apresentam as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>, associadas a cada fase da cadeia de valor do setor da construção de edifícios, para os países da UE. A Alemanha é o país com mais emissões de carbono associadas ao setor, com cerca de 17 500 kt de CO<sub>2</sub> emitidos por ano. A França é o segundo país com emissões mais elevadas (~10 000 kt CO<sub>2</sub>/ano). Espanha emite quase 7 500 kt CO<sub>2</sub>/ano. Itália e Polónia também apresentam emissões elevadas, emitindo 6 000 kt CO<sub>2</sub>/ano e 5 500 kt CO<sub>2</sub>/ano. Já a Bélgica e a Áustria apresentam emissões acima das 4 000 kt de CO<sub>2</sub> por ano, estando pouco acima da Roménia que liberta 3 800 kt de carbono. A Eslováquia emite mais de 2 000 kt de CO<sub>2</sub> anualmente, com a Grécia, Suécia e Finlândia ligeiramente abaixo. Os restantes países encontram-se abaixo das 2 000 kt CO<sub>2</sub>/ano, havendo, inclusivamente, certos países com emissões abaixo das 1 000 kt. Luxemburgo, Lituânia, Letónia, Chipre e Estónia são alguns dos países com menos emissões. Malta destaca-se por ser o país com menor número de emissões anuais (10 kt CO<sub>2</sub>/ano) possivelmente devido à sua dimensão menor, mas também falta de dados reportados ao Eurostat.

Ao analisar-se a Figura 38, verifica-se que em quase todos os países, a fase de produção é responsável por mais de metade das emissões de CO<sub>2</sub> no setor da construção de edifícios. Em alguns países, as emissões resultantes da fase produção são superiores a 90% das emissões da cadeia de valor, como é o caso da Bélgica, Suécia, Áustria e Eslováquia e Luxemburgo. Os Países Baixos e Malta são os únicos países em que a produção não é a fase da cadeia de valor com

mais emissões associadas, sendo que, no caso de Malta, não se verificam quaisquer emissões, pois o país não apresenta produção de materiais de construção.

A fase de construção é, em quase todos os países, a segunda fase que mais emite CO<sub>2</sub>, com exceção de Malta e Países Baixos, em que é a primeira. As emissões desta fase também se destacam em países como a Estónia, Finlândia e Hungria, representando, sensivelmente, 20%-25% das emissões totais. A fase do transporte de materiais de construção é a terceira fase que mais emite CO<sub>2</sub>. Em Itália e Espanha, esta fase é responsável por 5% da pegada de carbono de cada país. As emissões resultantes da extração de matérias-primas e demolição de edifícios são, em conjunto, responsáveis por, sensivelmente, 5% das emissões totais de todos os países, com exceção dos Países Baixos e Malta (11% e 30%, respetivamente). A fase de transporte e gestão de resíduos é emitida mais preponderante em Malta, Países Baixos e Itália, não ultrapassando os 7% da pegada total. Nos restantes países, as emissões desta fase não são superiores a 5% das emissões totais.

A Figura 39 e Figura 40 apresentam as emissões de CO<sub>2</sub>, incorporado, associadas a cada fase da cadeia de valor do setor da construção de edifícios, para a UE como um todo. A UE emite anualmente, 78 141 kt de CO<sub>2</sub>, no setor da construção de edifícios (sem considerar a fase de operação dos edifícios). A Figura 40 mostra que a produção é responsável por 83% das emissões totais de carbono no setor. A fase de construção, que é a segunda mais poluidora, emite, sensivelmente, 9% das emissões totais, bastante abaixo da fase de produção. A fase de transporte é responsável por 3% da pegada total, com a fase de transporte de resíduos de construção e demolição a representar 2% das emissões totais. Por sua vez, a fase de extração de matérias-primas e a fase de demolição estão associados, cada um, a 1% do total de emissões.

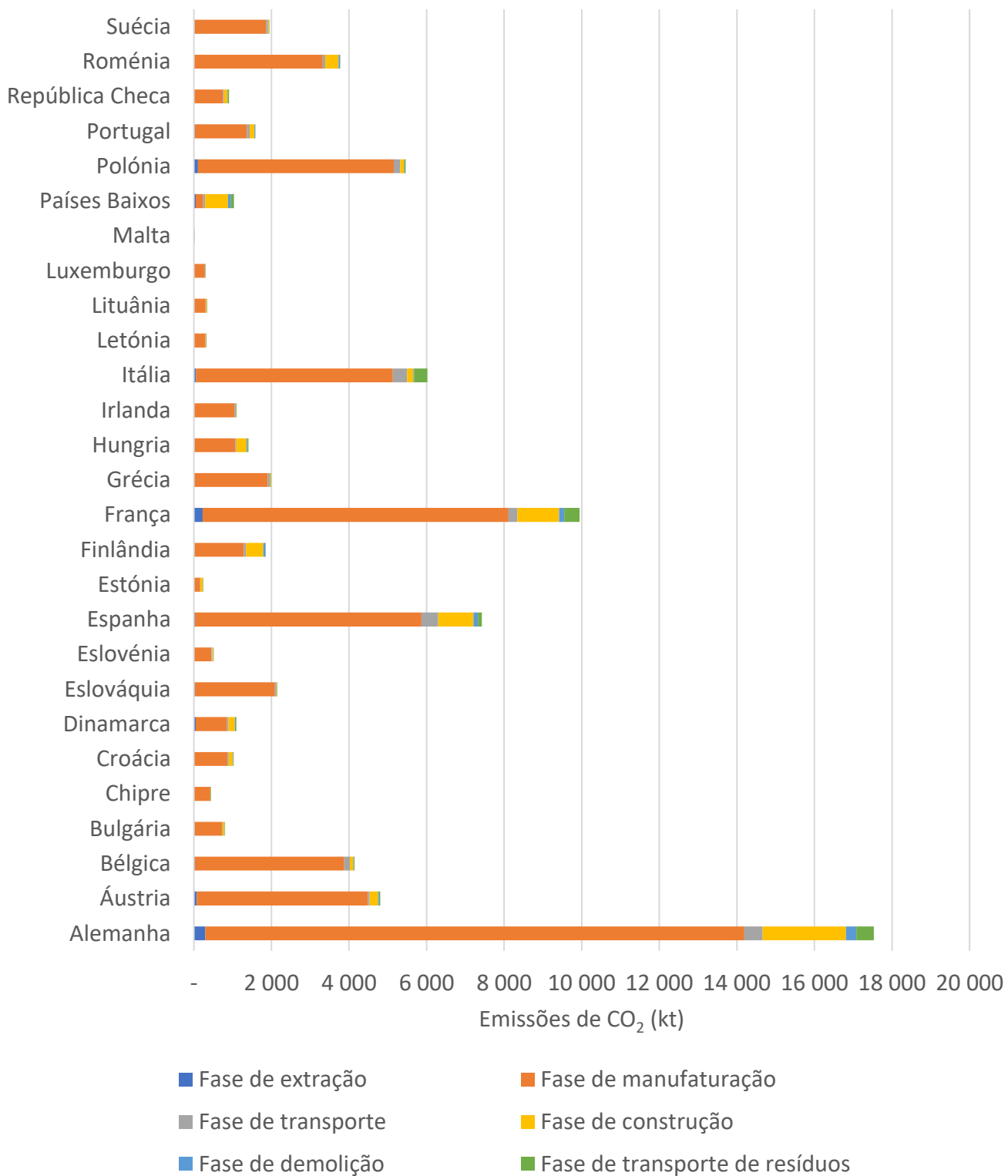


Figura 37 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios por fase da cadeia de valor, por país da UE

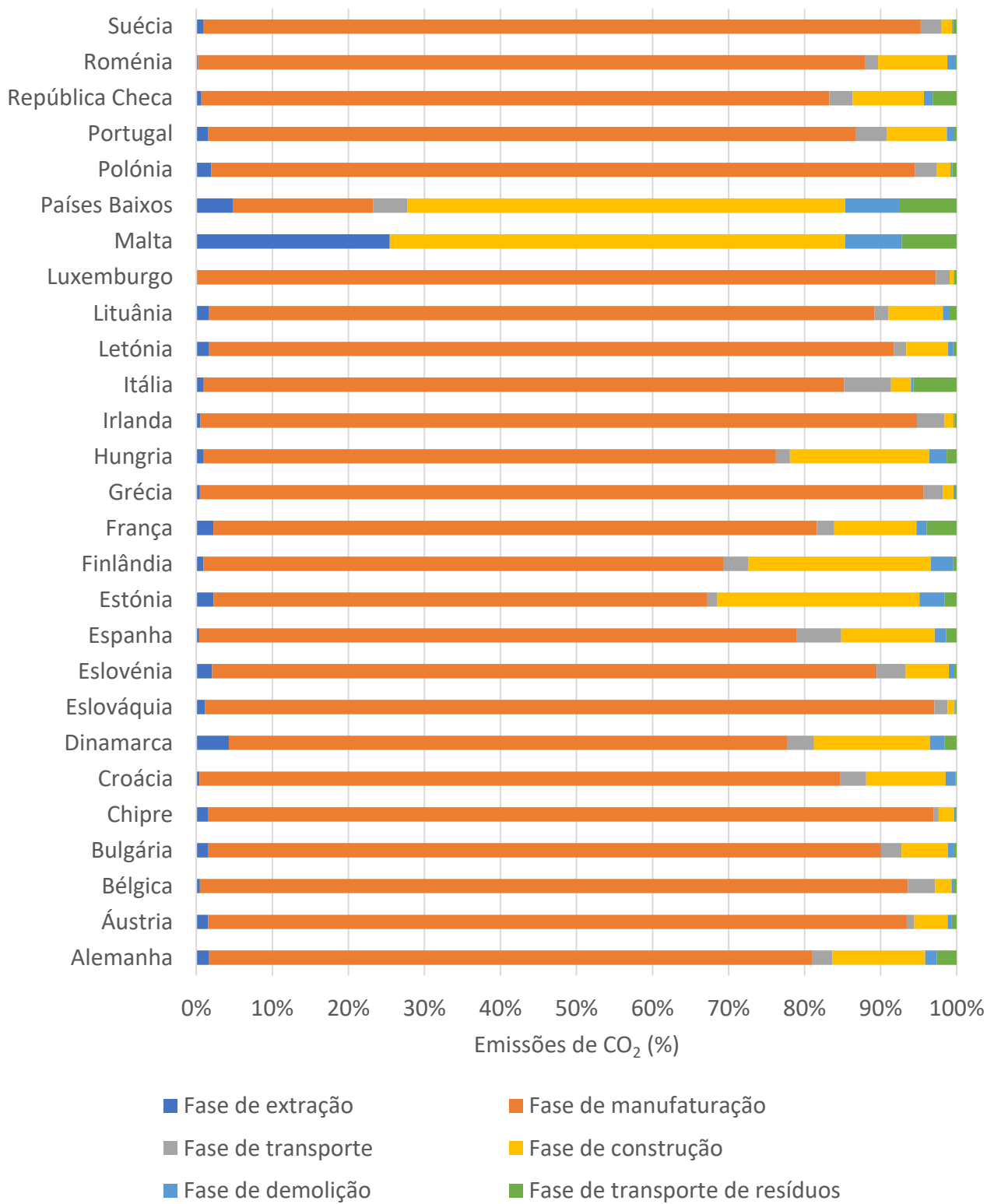


Figura 38 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios por fase da cadeia de valor, por país da UE, em percentagem

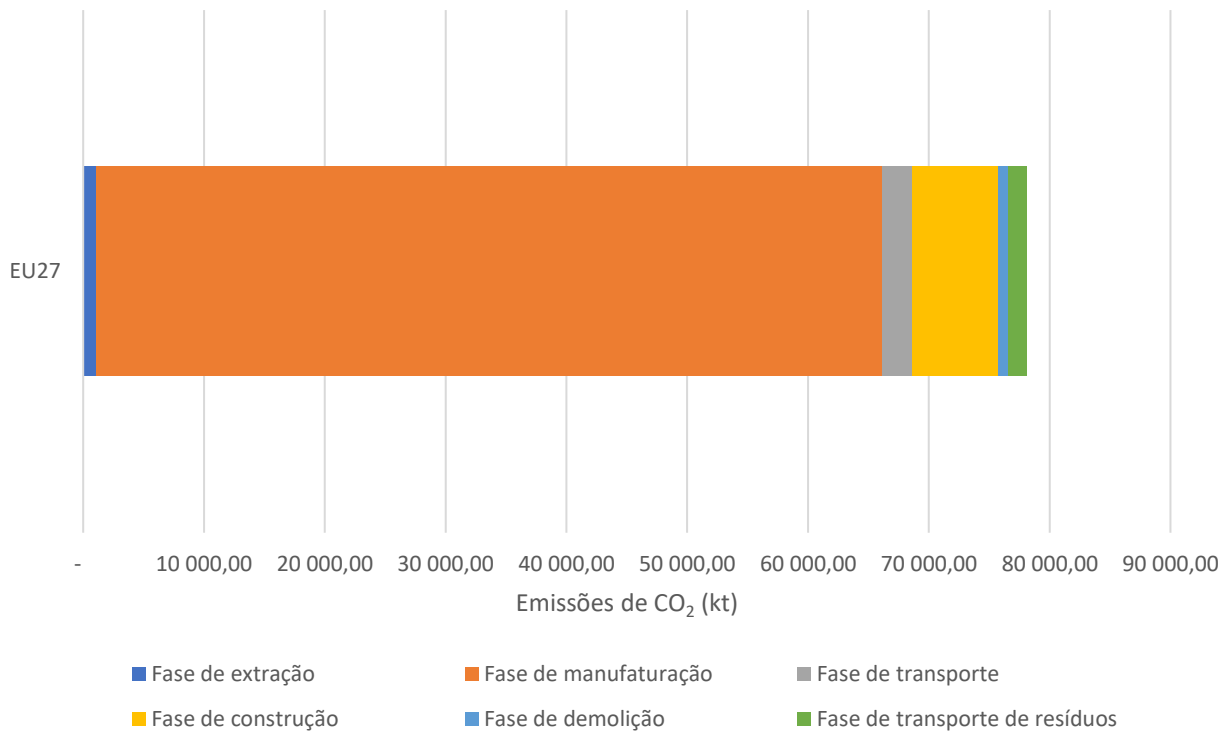


Figura 39 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios na UE, por fase da cadeia de valor.

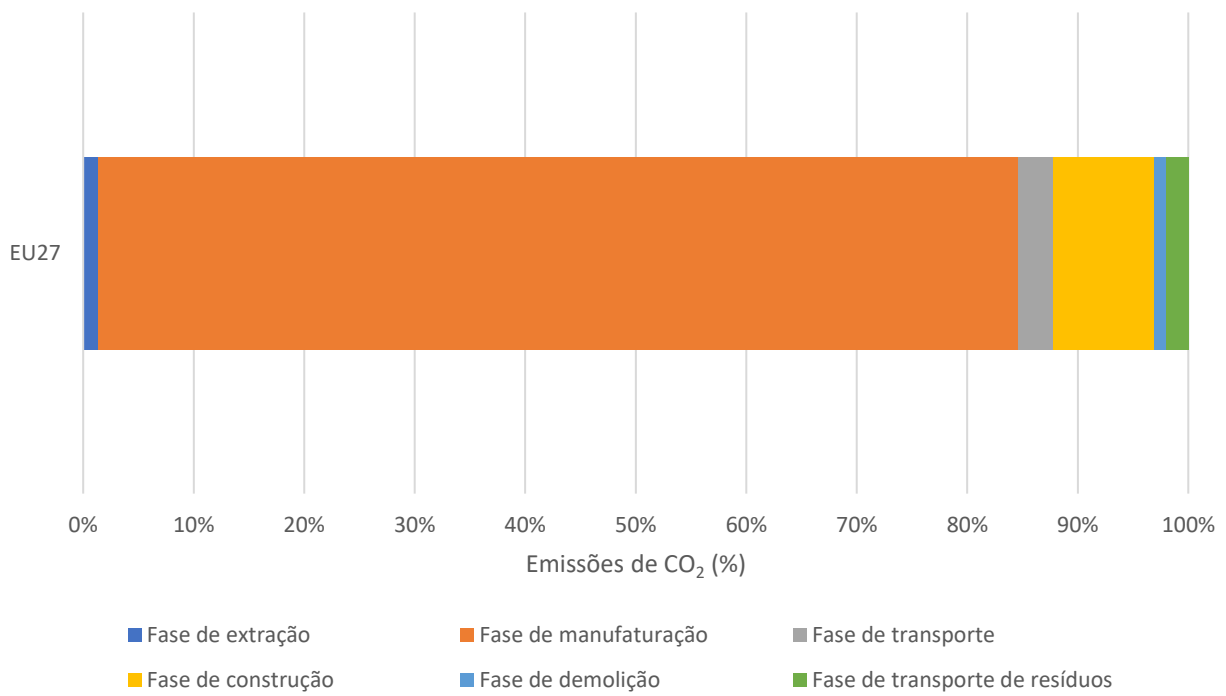


Figura 40 - Pegada de carbono do setor da construção de edifícios na UE, por fase da cadeia de valor, em percentagem



## DISCUSSÃO

### 5.1 Comparação com a revisão de literatura

Os resultados obtidos estimam que no setor da construção de edifícios, a fase de produção é responsável por 83% das emissões de carbono na cadeia de valor para a UE como um todo. Esta é seguida pela fase de construção (9% das emissões da pegada total), transporte (3%), extração de matérias-primas, demolição e transporte de resíduos (cerca de 5% no total). De acordo com Peng (2016), que calculou a pegada de carbono associada a todo o ciclo de vida de um único edifício na China, a fase de produção corresponde a 83% do carbono incorporado de um edifício, estando em linha com os resultados obtidos. No entanto, o autor refere que a fase de demolição corresponde a 10 % do carbono incorporado, e as fases de transporte e construção correspondem a 7% do total. Estes valores são diferentes face aos resultados obtidos nesta dissertação, principalmente na fase de demolição. De salientar, no entanto, que o autor não calculou o peso que a extração de matérias-primas tem no carbono incorporado.

Por sua vez, Rock *et al.* (2022), que calculou a pegada de carbono média de edifícios na europa com base em casos de estudo de diferentes países, estima que 84% das emissões de carbono incorporado se devem às fases de extração e produção. O autor não discrimina as emissões de carbono entre as duas fases, mas a sua soma vai ao encontro dos resultados obtidos nesta dissertação. Segundo o mesmo autor as fases de transporte e construção são responsáveis, no total, por 11% das emissões de carbono, enquanto nas fases de demolição e transporte de resíduos são emitidas 5% das emissões totais de carbono incorporado. À semelhança do que se verificou para as fases de extração e produção, os resultados obtidos estão em concordância com os valores obtidos neste estudo.

Comparar o trabalho realizado por Chau *et al.* (2015) com os resultados desta dissertação revela-se complicado. O estudo em questão, que analisa vários casos de estudo, não discrimina as emissões de carbono de todas as diferentes fases da cadeia de valor do setor em estudo. Refere, no entanto, como o transporte de materiais de construção pode contribuir entre 1 a 7% das emissões de carbono incorporado, e as emissões de resultantes da produção de materiais podem ultrapassar os 60% das emissões em questão. Como mencionado, as emissões médias do transporte calculadas na presente dissertação encontram-se dentro do intervalo estabelecido pelo autor do estudo. No entanto, as emissões médias da produção apresentadas no estudo de Chau *et al.* não são claras, tornando-se difícil comparar com os resultados obtidos e tirar conclusões.

Huang *et al.* (2018), determinou que a quantidade total de CO<sub>2</sub> emitido no sector da construção, pelos estados-membros da UE, é de 579 milhões de toneladas. Este valor tem como base dados referentes ao ano de 2009 e envolve, não só a construção de edifícios, mas também a construção de infraestruturas. Comparativamente aos resultados obtidos nesta dissertação (78 141,6 kt de CO<sub>2</sub>), a pegada verificada na literatura é bastante superior. Tal pode ser explicado por dois fatores. Primeiramente, e como foi referido, o estudo de Huang envolve todo o setor de construção, e não apenas a construção de edifícios. Adicionalmente, Huang *et al.* (2018) considerou as emissões das importações e exportações de materiais, o que não é o caso nesta dissertação. Estes levam ao aumento da pegada de carbono, potencialmente explicando a discrepância nos resultados. No entanto, o estudo em causa apresenta também a Alemanha, Espanha e França como os países que mais contribuem para a pegada de carbono da UE, tal como obtido nesta dissertação. Note-se que Huang *et al.* (2018) não discriminou os resultados por fase da cadeia de valor.

## 5.2 Extração de matérias-primas

As emissões de carbono associadas à fase da extração de matérias-primas, para o setor da construção de edifícios, foram calculadas com base na energia utilizada por país na extração total de matérias-primas e os respetivos fatores de emissão. Para obter a percentagem de matérias-primas extraídas que são destinadas à construção de edifícios, recorreu-se a literatura científica e relatórios diversos e analisaram-se as quantidades totais de matérias-primas extraídas por cada país da UE. Após identificar quais as matérias-primas extraídas, por país, as quantidades envolvidas e qual a percentagem destinada ao setor da construção, assumiu-se, ainda, para todos os países que 40% destas matérias-primas são destinadas à construção de edifícios.

Este pressuposto apresenta um elevado grau de incerteza, dado ser bastante improvável que todos os países extraíam a mesma percentagem de matérias-primas com vista à construção de edifícios.

Os resultados mostram como as emissões de carbono resultantes da extração de matérias-primas para o setor da construção de edifícios, advêm, essencialmente, da extração de minerais não-metálicos, utilizados na produção de cimento, vidro e cerâmica. As emissões resultantes da extração de ferro, utilizado para produzir aço, são bastante baixas em comparação. Tal é explicado pelo facto de apenas 7 países utilizarem energia para a extração de ferro e em menos quantidade que para as outras matérias-primas. Ainda neste contexto importa referir que de entre os países que extarem minério de ferro, a Espanha também apresenta valores extraídos, mas o Eurostat não apresenta os consumos de energia correspondente utilizada na sua extração, impossibilitando o cálculo das emissões associadas. Segundo os dados de energia utilizada na extração, fornecidos pelo Eurostat, a Polónia é o país que mais energia utiliza na extração de minerais metálicos (Eurostat, 2023). No entanto, os minérios de ferro não constam nestes minerais, pelo que a sua contribuição para as emissões de carbono associadas ao setor em estudo é considerada nula.

Os resultados apresentados concluem que a Alemanha, França e Espanha são os países mais poluidores da UE no que respeita a emissões de GEE na fase de extração. Estes países destacam-se pela grande quantidade de energia utilizada na extração de matérias-primas, comparativamente aos outros países, e por utilizarem fontes energia com elevada intensidade carbónica. A Alemanha, por exemplo, recorre ainda ao uso de carvão na extração de minerais, o que explica emitir mais CO<sub>2</sub> do que a França e Espanha, por tonelada extraída, apesar de utilizar menos energia no global. Adicionalmente, houve menos países com dados de energia utilizada na extração de metais. Segundo o Instituto Alemão para Assuntos Internacionais e de Segurança (2022), a Europa depende muito da importação de metais de outros países. . Assim, nesta dissertação as emissões de carbono estimadas na fase de extração proveem, na maioria dos países da UE, da extração de areia e matérias-primas para o cimento e cerâmica. No entanto, se se considerarem as emissões de GEE associadas à extração de todos as matérias-primas para a cadeia de valor dos edifícios na UE, incluindo por exemplo devido à extração de matérias-primas fora do território da UE, então estes valores deverão vir a alterar-se substancialmente.

### 5.3 Produção de materiais

A produção de materiais de construção representa a maior parcela da pegada de carbono da cadeia de valor do setor em estudo, para a UE. Dos materiais em estudo, é notório o impacto que a produção de cimento e produtos de aço têm na pegada, representando, quase, 90% das emissões de CO<sub>2</sub> desta fase. Estes resultados estão alinhados com o trabalho de Perez-Fortes (2014), que refere que as indústrias que emitem a maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> são o cimento e o aço. O cimento tem como ingrediente principal o clínquer, produzido através do aquecimento de uma mistura de matérias-primas num forno a altas temperaturas. Este processo denomina-se calcinação e liberta elevados volumes de CO<sub>2</sub> devido aos compostos envolvidos (Worrel, 2001). Adicionalmente, o processo de produção de cimento requer elevadas quantidades de energia, que, na sua maior parte, provém da combustão de combustíveis fósseis, como o gás natural ou o carvão. A queima destes combustíveis, necessária para gerar as altas temperaturas verificadas nos fornos, liberta CO<sub>2</sub> (Sousa, 2021). Os resultados obtidos nesta dissertação resultam também do facto de a produção de cimento ser intensiva em carbono, para todos os países estudados. Apenas dois países da UE emitem menos de 0,5 kt de CO<sub>2</sub>, por kt de cimento produzida (Luxemburgo e Eslováquia). A Alemanha, Espanha, França, Itália e Polónia são os países com mais emissões, pois são os maiores produtores de cimento.

Por sua vez, a produção de aço pode ser realizada através de diferentes processos, sendo que os referidos a seguir são os mais comuns: 1) produção em alto-forno, onde ocorre a redução do minério de ferro e, posteriormente, é colocado num forno básico de oxigénio para produzir o ferro; 2) produção em forno de arco eléctrico, onde o processo é semelhante ao anterior, mas utiliza a eletricidade como única fonte de energia. O primeiro processo é amplamente utilizado no mundo inteiro e envolve carvão na produção de energia, sendo, por isso, muito intensivo na libertação de CO<sub>2</sub> (Fan, 2021). Os resultados desta dissertação são assim determinados pelo facto de que a atual produção de aço e produtos de aço na UE envolve elevadas emissões de carbono, tal como para o cimento. No entanto, as intensidades de carbono da produção de aço variam bastante entre países, entre 0,04 e 1,49 kt de CO<sub>2</sub>, por kt de aço produzido. Os países com maior produção de aço, na UE, são a Alemanha, Bélgica, Áustria, França, Espanha e Itália. Os primeiros 4 países referidos apresentam o maior volume de emissões de carbono, visto apresentarem uma elevada produção. A Espanha e Itália têm menores emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de aço uma vez que recorrem a processos menos intensivos em carbono, bem como produzem menores quantidades de aço.

Comparativamente com os materiais supramencionados, a produção de vidro e dos tijolos e telhas apresentam uma pegada de carbono mais reduzida. O processo de produção de vidro envolve várias fases, sendo a fusão do mesmo a etapa onde é consumida mais energia e onde se geram mais emissões. O calor necessário para que ocorra a fusão é normalmente gerado pela queima de gás natural ou outros combustíveis, que libertam CO<sub>2</sub> (Zier, 2021). Tal como no caso do cimento e do aço, a fusão de vidro implica ainda a libertação de emissões de processo, independentes do tipo de combustível consumido nos fornos. A produção de tijolos e telhas requer a utilização de fornos, onde as matérias-primas são processadas a altas temperaturas para produzir, secar e cozer a argila. A energia consumida é, maioritariamente, combustíveis fósseis (Murmu, 2018). A Alemanha, Espanha, França Itália e Polónia são os maiores produtores de vidro na União Europeia. Daí decorre serem os países com mais emissões por ano. A Alemanha e Espanha são, também, os maiores produtores de tijolos, telhas e ladrilhos na UE, apresentando o maior número de emissões médias anuais. As emissões elevadas devem-se, apenas, às quantidades de material produzido, visto os dois países apresentarem intensidades carbónicas menores que a média europeia. Existem, ainda, 9 países com o mesmo volume de emissões derivadas da produção deste material. Como explicado anteriormente, estes países não apresentaram dados de produção, pelo que foi considerada a média europeia para os mesmos.

## 5.4 Transporte

Como detalhado na metodologia, as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> resultantes do transporte de materiais de construção destinados a edifícios, na União Europeia, foram calculadas com base em três fatores: quantidades de materiais de construção, para o setor em estudo, transportadas; as distâncias médias viajadas por um veículo rodoviário de mercadorias, por país; e o fator de emissão médio de veículos de mercadorias. Relativamente à quantidade de materiais de construção transportada, considerou-se que esta é igual à quantidade de materiais produzidos para a construção de edifícios. Como foi referido na revisão de literatura, Ecorys (2014) afirma que, entre 2003 e 2011, a UE consumiu entre 1 200 e 1 800 milhões de toneladas de materiais de construção por ano para novas construções e remodelações. No entanto, as quantidades médias anuais de materiais produzidos considerados para esta dissertação, são bastante inferiores aos valores indicados por Ecorys (2014). A discrepância verifica-se porque para se obter os valores totais de materiais consumidos, seria necessário contabilizar as importações e exportações, influenciando as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>. No entanto, como explicado,

considerar importações ou exportações está fora do âmbito definido para esta dissertação, que é a pegada de carbono dentro da UE. De acordo com as atuais orientações do IPCC, nas emissões de GEE de um país consideram-se as emitidas dentro do seu território. Também é importante referir que, se fossem consideradas as importações e exportações, os modos de transporte e as distâncias médias viajadas por veículos de mercadorias também seriam diferentes. As distâncias médias assumidas nesta dissertação são apenas a nível nacional. Isto levaria a um aumento das emissões médias anuais associadas a esta fase.

Os resultados mostram como a Alemanha, Espanha e Itália são os países responsáveis pela maior parte das emissões médias anuais de carbono na UE para a cadeia de valor da construção de edifícios. Estes países apresentam, não só uma quantidade superior de materiais transportados, mas também uma maior distância média viajada. A Bélgica, Polónia e Finlândia têm distâncias médias viajadas semelhantes. No entanto, a Finlândia transporta menos materiais, explicando a sua menor pegada de carbono nesta fase, comparativamente aos outros dois países. Portugal, por sua vez, transporta quase o dobro dos materiais transportados pela Finlândia. No entanto, como a distância viajada pela Finlândia é superior, em ambos os países obtém-se, praticamente, a mesma quantidade de emissões. Verifica-se a mesma situação para a Áustria, que tem uma pegada de carbono reduzida devido à menor distância viajada, apesar da elevada produção de materiais.

## 5.5 Construção e demolição

Pelos resultados obtidos, torna-se evidente o peso das fases de construção/demolição na pegada de carbono da UE. Também aqui a Alemanha, Espanha e França são responsáveis por grande parte das emissões de carbono, devido essencialmente, ao elevado consumo de energia nestas fases, e ao facto de grande parte desta energia ser proveniente de petróleo e outros produtos petrolíferos. Além disso, segundo o Observatório do Stock Imobiliário da União Europeia, os três países supramencionados, são os que mais constroem novos edifícios, explicando, também, a elevada energia utilizada por estes países na fase de construção e as emissões associadas (European Commission, 2023). Existem, no entanto, países que apresentam consumos de energia superiores a outros, por ano, mas emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> mais baixas, como é o caso da República Checa, Eslováquia e Letónia. Uma maior utilização de fontes renováveis e gás natural, ao invés de petróleo e outros produtos petrolíferos, leva a que as emissões de CO<sub>2</sub> sejam mais reduzidas comparativamente a outros com um consumo semelhante ou ligeiramente superior.

As emissões de carbono resultantes das fases de construção e demolição apresentam concordância entre si, dada a metodologia semelhante adotada para ambas. Os países com mais energia consumida e mais emissões na construção de edifícios, têm também, mais energia consumida e emissões na demolição. No entanto, o mesmo não se verifica, para todos os países, nas outras fases da cadeia de valor. Por exemplo, enquanto a Alemanha é o maior emissor de carbono em quase todas as fases, existem países que não apresentam a mesma consistência, e na mesma proporção. Usando a Bélgica como exemplo, é facilmente perceptível como as fases de construção e demolição emitem quantidades de carbono baixas, comparativamente às libertadas noutras fases, como o transporte e produção. Este padrão é visível em outros países, como a Áustria, Roménia e Países Baixos, e pode ser explicado pela diferença no tipo de energia consumida em cada fase. A Itália e a Polónia têm emissões reduzidas nestas fases, sendo que emitem valores elevados CO<sub>2</sub> nas fases anteriores. Isto deve-se ao facto de, para estes países, não haver dados disponíveis. As emissões libertadas foram calculadas com base na população de cada país e na média de emissões dos restantes países da UE, o que tem um elevado grau de incerteza associado. Caso não tivesse sido verificada esta falta de dados para estes países, provavelmente haveria uma maior conformidade entre as diferentes fases da cadeia de valor.

## 5.6 Transporte de resíduos

As emissões médias anuais associadas ao transporte de resíduos, provenientes de edifícios da União Europeia, advêm, essencialmente, da Alemanha, França e Itália. Estes países apresentam, não só uma quantidade superior de resíduos transportados para tratamento, mas também uma elevada distância média viajada no transporte, o que explica o maior volume de emissões. Os Países Baixos têm uma quantidade de resíduos transportados superior à da Espanha. No entanto, esta última tem mais emissões médias anuais nesta fase porque há uma maior distância média viajada, comparativamente àquela verificada nos Países Baixos. Os restantes países têm emissões consideravelmente mais baixas devido às menores quantidades de resíduos transportados.

## 5.7 Análise de sensibilidade

Na Tabela 24 constam os resultados da análise de sensibilidade aos pressupostos supra-mencionados e o efeito verificado nas principais conclusões retiradas. A percentagem do CO<sub>2</sub>

total emitido na fase de extração resultante da aplicação dos cinco pressupostos conforme descrito na metodologia (resultado base) é de 1,8%. Este resultado varia entre 1,11% e 1,65% com as variações consideradas de  $\pm 20\%$  no pressuposto da energia utilizada para a extração, o que representa uma variação percentual face ao valor inicial de  $\pm 19\%$ . Quando os restantes pressupostos são alterados, a variação obtida nunca é superior a estes valores.

Do mesmo modo, o peso da produção do cimento na pegada total ( que é de 48,03% nos resultados base) varia em + 4,5 % ou -5,5%, ou seja uma variação de -11,5/+9,5% face ao valor base. Também se obtém uma variação neste resultado quando se varia o pressuposto relativo ao aço produzido para o setor ( $\pm 5,0\%$  e -5,5% face ao resultado base, i.e. o resultado base passaria a ser 45,63% - 50,70,%). Alterações nos restantes pressupostos têm menor impacto no peso do cimento na pegada total. Tal como no cimento, o peso do aço nas emissões totais varia em cerca de 4%, conforme as alterações no pressuposto do aço produzido para o setor e em 2,5%, devido às alterações no pressuposto do cimento produzido para o setor.

O peso da fase de construção varia em  $\pm 1,6\%$  sempre que o consumo de energia total da construção destinada para o setor da construção de edifícios varia em 20%. Este valor não tem variações maiores quando os restantes pressupostos são modificados.

O valor das emissões totais de carbono incorporado na União Europeia varia entre -9% e +10%% face ao resultado base de 78 141 kt com as alterações nos pressupostos do cimento produzido para o setor em estudo. Ao variar os valores semelhantes para o aço, obtém-se uma variação de  $\pm 5\%$ . Esta variação mostra, uma vez mais, o impacto que ambos têm na pegada de carbono total. Alterações nos restantes pressupostos alteraram de forma menor o valor das emissões de carbono totais.

Por fim, averiguou-se, também, se existiam variações substanciais no peso que a Alemanha (DE), França (FR) e Espanha (ES) têm na pegada total da UE. As modificações nos pressupostos não aparentam causar grandes alterações no peso que estes países têm na pegada, i.e. variações obtidas abaixo de  $\pm 2\%$  face ao resultado base.

Tabela 24 - Análise de sensibilidade às principais conclusões da dissertação

Principais conclusões	Resultados base	Varição de +/- 20% no pressuposto: "40% da energia utilizada na extração de matérias-primas para construção, é consumida para o setor da construção de edifícios"	Varição de +/- 20% no pressuposto: "50% do cimento produzido é utilizado no setor da construção de edifícios"	Varição de +/- 20% no pressuposto: "33% do aço produzido é utilizado no setor da construção de edifícios"	Varição de +/- 20% no pressuposto: "Distância média de transporte viajada por país"	Varição de +/- 20% no pressuposto: "Em 21 dos países estudados, 28% do consumo de energia total da construção é consumida para o setor da construção de edifícios"
Percentagem de CO <sub>2</sub> na fase de extração	1,38%	1,11 - 1,65, em % (-19/+19%)	1,26 - 1,53, em % (-8/+10%)	1,31 - 1,46, em % (-5/+6%)	1,37 - 1,39, em % (-1/+1%)	1,36 - 1,41, em % (-1,5/+2%)
Peso do cimento nas emissões totais	48,03%	47,90 - 48,17 em % (-0,2/+0,2%)	42,51 - 52,59, em % (-11,5/+9,5%)	45,63 - 50,70, em % (-5,0/+5,5%)	47,73 - 48,34, em % (-0,6/+0,6%)	47,18 - 48,92, em % (-1,8/+1,8%)
Peso do aço nas emissões totais	26,34%	26,27 - 26,41 em % (-0,2/+0,2%)	24,03 - 29,14, em % (-9/+10%)	22,24 - 30,03, em % (-15/+14%)	26,17 - 26,51, em % (-0,7/+0,6%)	25,87 - 26,83, em % (-1,2/+1,8%)
Peso da fase de construção na pegada global	9,09%	9,06 - 9,11 em % (-0,3/+0,2%)	8,29 - 10,05, em % (-9,1/+10,5%)	8,63 - 9,59, em % (-5/+5%)	9,03 - 9,15, em % (-0,6/+0,6%)	7,40 - 10,71, em % (-19%/+18%)
Valor emissões totais de carbono incorporado na UE	78 141 kt	77 925,00 - 78 357,73 em kt (-0,2/+0,2%)	70 634,82 - 85 648,38, em kt (-10/+9%)	74 025,24 - 82 257,97, em kt (-5/+5%)	77 647,70 - 78 635,50, em kt (-0,6/+0,6%)	76 721,42 - 79 561,78, em kt (-2/+2%)
DE, ES e FR representam uma parte substancial das emissões globais estimadas na UE	44,67%	44,65 - 44,68 em % (-0,1/+0,1%)	44,16 - 45,29, em % (-1/+1,4%)	44,38 - 44,92, em % (-0,6/+0,6%)	44,66 - 44,67, em % (-0,01/+0,01%)	44,42 - 44,91, em % (-0,6/+0,5%)



## CONCLUSÃO

As emissões elevadas de GEE representam, atualmente, uma preocupação a nível global, sendo a sua mitigação cada vez mais urgente. Entre os vários setores que mais contribuem para a libertação destes gases, está o setor da construção de edifícios e a sua cadeia de valor. No contexto desta dissertação, o setor da construção de edifícios refere-se à construção de edifícios, abrangendo, também, as restantes fases da suas cadeias de valor. Este setor é responsável por emitir elevadas quantidades de CO<sub>2</sub>, resultantes do consumo de energia na operação/utilização dos edifícios. No entanto, as emissões do setor verificam-se, também, ao longo de toda a sua cadeia de valor, desde a extração de matérias-primas, produção de materiais de construção, construção de edifícios, gestão de resíduos de construção e demolição e as diversas etapas de transporte. Apesar de haver já muito conhecimento científico ao nível da pegada de carbono dos edifícios, incluindo análises de ciclo de vida e quantificação de “emissões contidas” em edifícios, não existe nenhum estudo que quantifique as emissões para a cadeia de valor da construção de edifícios considerando o global da atividade média anual do setor (em alternativa a apenas um número limitado de edifícios tipo) por país. Compreender a pegada de carbono incorporado, por ano e por país da União Europeia, é uma informação vital para que os decisores políticos compreendam a problemática em questão e consigam atuar sobre a mesma, desenvolvendo políticas e regulamentos integrados ao longo da cadeia de valor que incentivem uma construção de edifícios mais sustentável e mitiguem as emissões de GEE.

O objetivo global desta dissertação é quantificar a pegada de carbono do setor da construção de edifícios na UE, incidindo, essencialmente, no carbono incorporado. Para tal, foram desenvolvidos os seguintes passos: 1) quantificar as emissões médias anuais de dióxido de carbono incorporado associadas a cada etapa da cadeia de valor da construção de edifícios para a UE no seu todo e cada um dos seus Estados Membros; 2) estimar o peso de diferentes materiais de construção, essenciais para a construção de edifícios, na pegada de carbono média anual do setor da construção de edifícios, na UE e por país; 3) explorar soluções inovadoras,

capazes de impactar positivamente o setor em estudo. Para tal, foi desenvolvida uma abordagem metodológica inovadora para o cálculo das emissões de carbono anuais associadas ao setor da construção de edifícios ao longo da sua cadeia de valor.

A metodologia desenvolvida para calcular as emissões médias anuais de carbono da construção de edifícios na UE, baseou-se em valores de energia consumida e quantidades de materiais/resíduos utilizados e produzidos. Nas fases de extração de matérias-primas, construção e demolição, foram compilados valores médios anuais de energia consumida, por país, e por vetor energético. Na fase de produção dos materiais de construção, consideraram-se, as quantidades de materiais de construção produzidos por país e utilizadas no setor da construção de edifícios. Nas fases de transporte de resíduos, utilizaram-se as quantidades de materiais produzidos e resíduos de demolição enviados para tratamento, respetivamente. Posteriormente, determinaram-se as emissões de GEE em cada etapa recorrendo a fatores de emissão por vetor energético, por material produzido e por veículo de transporte (para distâncias médias). Não foram consideradas as fases de transporte de matérias-primas para as fábricas, e de gestão de resíduos devido à lacunas na informação disponível.

Não obstante o elevado grau de incerteza associado, devido aos pressupostos desenvolvidos e às limitações encontradas, esta abordagem permite pela primeira vez calcular as emissões médias anuais de carbono, para o setor em estudo e por país.

Foi estimado que o setor da construção de edifícios da UE é responsável pela emissão anual de 78 142 kt de CO<sub>2</sub>, ao longo da sua cadeia de valor (excluindo a fase de utilização de edifícios). Em 2021, as emissões médias anuais de carbono equivalente na União Europeia foram de 3 600 000 kt (Eurostat, 2022), significando que a quantidade de emissões médias anuais estimadas, para o setor da construção de edifícios, representam 2% do total. No entanto, apenas se consideraram 4 materiais de construção e não foram assumidas as emissões associadas às importações de materiais/matérias-primas para a construção de edifícios. Por essa razão este valor possa ser superior. Os resultados obtidos indicam que a fase de produção de materiais de construção é responsável por 83% das emissões médias anuais de carbono, associadas ao setor da construção de edifícios na União Europeia. O impacto desta fase deve-se, essencialmente, à produção de cimento e aço (cerca de 90% das emissões anuais da produção), cujos processos estão bastante dependentes de combustíveis fósseis e têm, além disso, emissões de processo independentes do combustível utilizado. Comparativamente, a produção de vidro, tijolos, telhas e ladrilhos, é menos intensiva em carbono e são usados menores volumes de material, sendo assim responsáveis por apenas 10% das emissões anuais da produção. Os restantes 17%, das emissões médias anuais de carbono, estão compreendidas nas fases de

extração de matérias-primas, transporte, construção, demolição e transporte de resíduos. Os países que com um maior volume de emissões médias anuais foram a Alemanha (22,44% do total da UE), França (12,72% do total da UE) e Espanha (9,51% do total da UE), dada a sua dimensão territorial e dado verificarem uma maior atividade económica no setor em estudo, comparativamente aos restantes países.

Existem, atualmente, diversas soluções capazes de contrariar a pegada de carbono deste setor. Com base numa perspetiva de economia circular, sugere-se estimular a implementação as seguintes medidas: **1) Reutilização e reciclagem de materiais primários e secundários; 2) Renovação de edifícios; 3) Materiais de construção alternativos; 4) Ecodesign.** Estas medidas permitem reduções em diversos aspetos, como a extração de matérias-primas, produção de novos materiais e energia consumida na construção e demolição de edifícios. A Dinamarca elaborou a "Estratégia Nacional para a Construção Sustentável", no qual estipula regulamentos relativos ao carbono incorporado na cadeia de valor da construção de edifícios e que serão obrigatórios a partir de 2023. Para cumprir com os regulamentos em questão, a Dinamarca poderá implementar algumas das medidas propostas nesta dissertação de forma a reduzir o carbono incorporado dos seus edifícios. A Dinamarca, sendo pioneira nesta temática, tem um papel fundamental em guiar os restantes países da UE no combate ao carbono incorporado dos edifícios.

A presente dissertação procurou quantificar a pegada de carbono incorporado associada ao setor da construção de edifícios na União Europeia. Atualmente, os países na Europa adotam, cada vez mais, medidas que promovam uma maior eficiência energética nos edifícios, a fim de reduzir as emissões de carbono associadas à fase de operação dos edifícios. No entanto, o carbono incorporado também pesa na pegada e devem ser formuladas soluções para o mesmo. Adotar uma abordagem integrada ao longo da cadeia de valor permite identificar, com rigor, os principais fatores que elevam as emissões de carbono e desenvolver medidas de mitigação específicas para cada fase. Este trabalho permite compreender as suas emissões nas diferentes fases da cadeia de valor e pretende, também, auxiliar em estudos futuros.

Esta dissertação poderá servir como base para uma análise futura, em que as lacunas verificadas e os pressupostos adotados podem ser ajustados para otimizar e melhorar o cálculo das emissões de carbono associadas ao setor em estudo.

Os pressupostos adotados nesta dissertação devem-se ao facto de não existirem dados concretos e disponíveis ao público. Não foram encontradas fontes que apresentassem, com clareza, a energia utilizada ou as quantidades de materiais produzidos para a construção de edifícios. Além disso, existem países que apresentam informações confidenciais e/ou em falta

nas bases de dados utilizadas. Para obter estas informações, será necessário, em estudos futuros, realizar inquéritos e entrevistas a empresas de transporte de materiais de construção, por país da EU.

Os materiais considerados nesta dissertação resumem-se a quatro materiais de construção bastante comuns: cimento, aço, vidro e tijolos. Existe, no entanto, uma panóplia de outros materiais de construção, que são utilizados para construir edifícios, e que não foi possível considerar neste estudo. Sugere-se que estes sejam estudos em trabalhos futuros.

O cálculo das emissões provenientes do transporte de materiais, e resíduos, de construção exigiu a formulação de pressupostos importantes, como os modos de transporte considerados, fatores de emissão dos meios de transporte e as distâncias médias viajadas. Nesta dissertação trabalhou-se com valores médios associados aos parâmetros referido. Em futuros trabalhos, sugere-se que realizem inquéritos e entrevistas a empresas de transporte de materiais de construção. Esta abordagem permitirá reduzir a incerteza do presente método e contribuir com dados concretos e exatos.

Como foi mencionado na metodologia, não foram consideradas quaisquer exportações e importações de e para a UE . Em estudos futuros, seria pertinente perceber de que forma as exportações e importações de materiais influenciam a pegada do setor.

Os resultados obtidos estão associados à construção média anual de edifícios na União Europeia, onde não se fez distinção entre tipologias de edifícios. Apesar de existirem informações relativas ao ambiente construído na Europa e quanto do mesmo, no passado, foi destinado a edifícios residenciais e/ou comerciais, não foi possível, neste estudo, discriminar as emissões por tipologia de edifício. Recomenda-se que esta análise seja efetuada no futuro.

Por fim, o setor da construção de edifícios não apresenta apenas impactes relacionados com as emissões de carbono, sendo, por isso, importante que, em estudos futuros, se avaliem outros parâmetros ambientais, como a poluição da água e dos solos, o ruído, a perda de biodiversidade e uso do solo.

Não obstante as limitações encontradas e as várias possibilidades de melhoria elencadas, considera-se que esta dissertação apresenta um primeiro passo significativo no conhecimento do peso desde setor nas emissões de CO<sub>2</sub> o que possibilita a tomada de medidas mais informadas e eficazes com vista à sua redução.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Akanbi, L., Oyedele, L., Akinade, O., Ajayi, A., Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life. *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 129, 175-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>

Alkadri, M., & Çetin, R. (2021). Minimizing the Carbon Footprint by Using Rammed Earth Technique. 4th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, (pp. 81-88). Alanya.

Andersen, J., Rasmussen, N., & Ryberg, M. (2022). Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon. *Energy & Buildings*, vol. 254, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111604>

Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, vol. 60, 81–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>

Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*. vol. 123, 230-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>

Blanc, I., & Peuportier, B. (2007). Eco-design of buildings and comparison of materials. *International Seminar on Society and Materials* (pp. 1-8). Sevilha: Joint Research Centre.

Buildings Performance Institute Europe. (2011). *EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE - A country-by-country review of the energy performance of buildings*. BPIE.

Buildings Performance Institute Europe. (2022). *IMPLEMENTING THE PARIS AGREEMENT AND REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS THROUGHOUT THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS: EUROPEAN PUBLIC POLICIES, TOOLS AND MARKET INITIATIVES*. BPIE.

Buro Happold. (2022, Dezembro 12). How Denmark leads the way in decarbonising the construction industry. Retrieved from Buro Happold: <https://www.burohappold.com/news/how-denmark-leads-the-way-in-decarbonising-the-construction-industry/#>

Cabeza, L., Rincon, L., Vilarino, Virginia, Perez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, 394-416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>

Cabrita, A. L. (2023, Abril 3). Construção de edifícios e a pegada de carbono. (B. Jerónimo, Interviewer)

Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, vol. 128, 198-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Cataldo, I., Banaitis, A., Samadhiya, A., & Banaitiene, N. (2022). Sustainable supply chain management in construction: an exploratory review for future research. *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 28, 536-553. doi: [10.3846/jcem.2022.17202](https://doi.org/10.3846/jcem.2022.17202)

Chau, C., Leung, T., & Ng, W. (2015). A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, vol.143, 395-413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>

Climate Bonds Initiative. (2018). *Aligning Buildings with a Climate Compatible 2050: Insights and developments from the Green Bond Market*. Londres: Climate Bonds Initiative.

Cruz, C., Gaspar, P., & Brito, J. (2019). On the concept of sustainable sustainability: An application to the Portuguese construction sector. *Journal of Building Engineering*, vol. 25, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100836>

Cullen, J., Allwood, J., & Bambach, M. (2012). Mapping the Global Flow of Steel: From Steelmaking to End-Use Goods. *Environmental Science and Technology*, vol. 46 13048–13055. doi: <https://doi.org/10.1021/es302433p>

De Wolf, C. (2018). Embodied Carbon Benefits of Reusing Structural Components in the Built Environment: a Medium-rise Office Building Case Study. *PLEA 2018*, (pp. 1-6). Hong Kong.

Ecorys. (2014). *Resource efficiency in the building sector*. Roterdão: Ecorys.

Ecorys. (2016). The European construction value chain: performance, challenges and role in the GVC. Bruxelas: Ecorys.

Ember. (2023, Junho 10). European Union Carbon Intensity. Retrieved from Ember: <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/european-union/>

EPRA. (2022). Real estate in the real economy. INREV.

European Commission. (2018). Material flow analysis of aluminium, copper, and iron in the EU-28 . Luxemburgo: European Commission.

European Commission. (2023, Março 15). Construction sector. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/digpub/housing/bloc-3a.html?lang=en>

European Commission. (2023, Agosto 18). European Commission. Retrieved from BSO - EU Building Stock Observatory: <https://building-stock-observatory.energy.ec.europa.eu/datamapper/>

European Commission. (2023, Abril 1). European construction sector observatory (ECSO). Retrieved from European Commission: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory_en)

European Commission. (2023). RMIS – Raw Materials Information System. Retrieved from European Commission: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Limestone>

European Commission. (2023, Março 15). SBS data by NUTS 2 regions and NACE Rev. 2 (from 2008 onwards). Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/data-browser/view/SBS\\_R\\_NUTS06\\_R2\\_custom\\_3627563/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=7af03239-002f-4400-be77-566066a3fcef](https://ec.europa.eu/eurostat/data-browser/view/SBS_R_NUTS06_R2_custom_3627563/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=7af03239-002f-4400-be77-566066a3fcef)

European Commission. (2023, Março 15). Construction of new buildings. Retrieved from European Commission: <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/223/view>

European Commission. (2023, Março 15). EU Taxonomy Navigator. Retrieved from European Commission: <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/>

European Construction Sector Observatory. (2021). Country Fact Sheet Portugal. European Commission.

European Construction Sector Observatory. (2022). Country Fact Sheet France. European Commission.

European Construction Sector Observatory. (2022). Country Fact Sheet Germany. European Commission.

European construction sector observatory. (2022). Country Fact Sheet United Kingdom. European Commission.

European Environment Agency. (1999). Environment in the European Union at the turn of the century. Luxemburgo: European Environment Agency.

European Parliament. (2023, Março 14). MEPs back plans for a climate neutral building sector by 2050. Retrieved from European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230310IPR77228/meps-back-plans-for-a-climate-neutral-building-sector-by-2050>

European Union. (2023, Maio 30). Average floor area per capita. Retrieved from Entranze: <https://entranze.enerdata.net/>

Eurostat. (2019, Setembro 9). Glossary: Biofuels. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Biofuels>

Eurostat. (2019, September 9). Glossary: Fossil fuel. Retrieved from Eurostat: <https://www.researchrabbit.ai/>

Eurostat. (2021, Fevereiro 7). Glossary: Renewable energy sources. Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Renewable\\_energy\\_sources](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Renewable_energy_sources)

Eurostat. (2022). Energy consumption in households. European Commission.

Eurostat. (2022, Dezembro 21). EU economy emissions in 2021: -22% since 2008. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20221221-1>

Eurostat. (2022, Outubro). Road freight transport by journey characteristics. Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road\\_freight\\_transport\\_by\\_journey\\_characteristics#:~:text=In%202021%2C%20the%20average%20distance,in%20cabotage%20transport%20\(see%20Figure](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics#:~:text=In%202021%2C%20the%20average%20distance,in%20cabotage%20transport%20(see%20Figure)

Eurostat. (2023, Maio 1). Disaggregated final energy consumption in industry. Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_D\\_INDQ\\_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_d](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_INDQ_N/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_d)

Eurostat. (2023, Junho 9). Gross domestic product at market prices. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEC00001/default/table?lang=en>

Eurostat. (2023, Junho 9). Gross value added and income by A\*10 industry breakdowns. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/digpub/housing/bloc-3a.html?lang=en>

Eurostat. (2023). Material flow accounts. Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AC\\_MFA/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_MFA/default/table?lang=en)

Eurostat. (2023, Setembro 6). PRODCOM - STATISTICS BY PRODUCT. Retrieved from Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom>

Eurostat. (2023, Agosto 1). Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations. Retrieved from Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WASTRT\\_\\_custom\\_7356453/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASTRT__custom_7356453/default/table?lang=en)

Fan, Z. (2021). Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy. *Joule*, vol. 5, 829–862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.02.018>

Fenner, A., Kibert, C., Woo, J., Morque, S., Razkenari, M., Hakim, H., & Lu, X. (2018). The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, 1142-1152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.012>

Galos, K., Kot-Niewiadomska, A., & Kamyk, J. (2021). The Role of Poland in the European Union Supply Chain of Raw Materials, Including Critical Raw Materials. *Materials proceedings*, vol. 5, 1-6. doi: <https://doi.org/10.3390/materproc2021005014>

German Institute for International and Security Affairs. (2022). *The Race for Raw Materials*. Berlin: SWP.

Giama, E. (2016). Life Cycle Versus Carbon Footprint Analysis for Construction Materials. *Energy performance of buildings* (pp. 95-106). Cham: Springer International Publisher Switzerland.

Gobierno de España. (2023, Junho 27). Estadísticas y Balances Energéticos. Retrieved from Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: <https://energia.gob.es/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx>

- Gordic, D., Nikolic, J., Vukasinovic, V., Josijevic, M., & Aleksic, A. (2023). Offsetting carbon emissions from household electricity consumption in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.175, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113154>
- Gu, H., Liang, S. P., Puetmann, M., Ganguly, I., Chen, C., Pasternack, R., . . . Maples, I. (2021). Mass Timber Building Life Cycle Assessment Methodology for the U.S. Regional Case Studies. *Sustainability*, vol. 13, 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/su132414034>
- Guo, H., Liu, Y., Meng, Y., Huang, H., Sun, C., & Shao, Y. (2017). A Comparison of the Energy Saving and Carbon Reduction Performance between Reinforced Concrete and Cross-Laminated Timber Structures in Residential Buildings in the Severe Cold Region of China. *Sustainability*, vol. 9, 1-15. doi: <https://doi.org/10.3390/su9081426>
- Hamby, D. (1995). A Comparison of Sensitivity Analysis Techniques. *Health Physics*, 1-20.
- Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, 1906–1916. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
- Ibn-Mohammed, Greenough, Ozawa-Meida, & Acquaye. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, vol. 66, 232-245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>
- ICCT. (2021). CO2 emissions from trucks in the EU: An analysis of the heavy-duty CO2 standards baseline data. ICCT.
- International Energy Agency. (2022). Emission Factors 2022 - Database documentation. IEA.
- International Resource Panel. (2020). Analysis of the Construction Value Chain. One Planet Network.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022 - Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- ISO. (2020, Agosto 4). ISO 14006:2020 (en) Environmental management systems — Guidelines for incorporating ecodesign. Retrieved from ISO: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14006:ed-2:v1:en>
- Jami, T. (2017). Assessment of Carbon Sequestration of Hemp Concrete. International Conference on Advances in Construction Materials and Systems, (pp. 1-9). Chennai.

- Jami, T., & Rawtani, D. (2016). Hemp concrete: carbon negative construction. *Emerging Materials Research*, vol. 5, 240-247. doi: <https://doi.org/10.1680/jemmr.16.00122>
- Kanyilmaz, A., Demir, A., Chierici, M., Berto, F., Gardner, L., Kandukuri, S., . . . Seyed, R. (2022). Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector. *Additive Manufacturing*, vol. 50, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102541>
- Kaplinsky, R. (2004). Spreading the Gains from Globalization. *Problems of Economic Transition*, vol. 47, 74–115. doi: <https://doi.org/10.1080/10611991.2004.11049908>
- Kraft, R., Kahnt, A., Grauer, O., Thieme, M., Wolz, D., Schluter, D., . . . Bohm, R. (2022). Advanced Carbon Reinforced Concrete Technologies for Façade Elements of Nearly Zero-Energy Buildings. *Materials*, vol. 15, 1-19. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15041619>
- Kumari, T., Kulathunga, U., Hewavitharana, T., & Madusanka, N. (2022). Embodied carbon reduction strategies for high-rise buildings in Sri Lanka. *International Journal of Construction Management*, vol. 22, 2605–2613. doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1814939>
- Labaran, Y., Mathur, V., & Farouq, M. (2021). The carbon footprint of construction industry: A review of direct and indirect emission. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 6, 101-115. doi: [10.29187/jscmt.2021.66](https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.66)
- Li, J., Lu, Q., & Fu, P. (2015). Carbon Footprint Management of Road Freight Transport under the Carbon Emission Trading Mechanism. *Hindawi*, vol. 2015, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/814527>
- Lu, M., & Lai, J. (2020). Review on carbon emissions of commercial buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 119, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109545>
- Mentior, J., Reccardo, D., & Marchi, F. (2015). Economic and Market Analysis of the EU Building Sector. European Commission.
- Ministry of the interior and housing. (2021). National Strategy for Sustainable Construction. Copenhagen: Ministry of the Interior and Housing.
- Mohajan, H. (2011). Greenhouse gas emissions increase global warming. *International Journal of Economic and Political Integration*, vol. 1, 21-34. doi: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/50839/>

- Mouton, L., Trigaux, D., Allacker, K., & Crawford, H. (2022). Development of environmental benchmarks for the Belgian residential building stock. *Earth and Environmental Science*, vol. 1078, 1-11. doi: 10.1088/1755-1315/1078/1/012077
- Murmu, A. (2018). Towards sustainable bricks production: An overview. *Construction and Building Materials*, vol. 165, 112-125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038>
- Nadoushani, Z., & Akbarnezhad, A. (2015). Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings. *Energy and Buildings*, vol. 102, 337-346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.044>
- NASA. (2023). NASA Announces Summer 2023 Hottest on Record. Retrieved from NASA: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-summer-2023-hottest-on-record>
- Nunes, A., Palmeri, J., & Love, S. (2019). Deconstruction vs. Demolition: An evaluation of carbon and energy impacts from deconstructed homes in the City of Portland. Portland: DEQ Materials Management.
- Nußholza, J., Rasmussen, F., & Milios, L. (2019). Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 141, 308-316. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.036>
- Padmalosan, P., Vanitha, S., Kumar, V., Anish, M., Tiwari, R., Dhapekar, N., & Yadav, A. (2023). An investigation on the use of waste materials from industrial processes in clay brick production. *Materials Today: Proceedings*, 1-4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.238>
- Peng, C. (2016). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, 453-465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>
- Pérez-Fortes, M., Moya, J., Vatopoulos, K., & Tzimas, E. (2014). CO<sub>2</sub> Capture and Utilization in Cement and Iron and Steel Industries. *Energy Procedia*, vol. 63, 6534-6543. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.689>
- Porter, M. (1998). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Nova Iorque: Free Press.
- Programme, U. N. (2014). *Sand, Rarer than One Thinks: UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS)*.

Röck, M., & Sørensen, A. (2022). Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings - Setting the baseline: A bottom-up approach. Ramboll.

Rock, M., Saade, M., Balouktsi, M., Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., . . . Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, vol. 258, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

Schwartz, Raslan, & Mumovic. (2018). The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings – A systematic review of case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, 231-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.061>

Schwartz, Y., Raslan, R., & Mumovic, D. (2022). Refurbish or replace? The Life Cycle Carbon Footprint and Life Cycle Cost of Refurbished and New Residential Archetype Buildings in London. *Energy*, vol. 248, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123585>

Sipahi, S. (2021). A study on reducing the carbon footprint of architectural buildings based on their materials under the guidance of eco-design strategies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 23, 991-1005. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-02009-4>

Sousa, V. (2021). Comparison of energy consumption and carbon emissions from clinker and recycled cement production. *Journal of Cleaner Production*, vol. 306, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127277>

The Carbon Trust. (2022). A guide to carbon footprinting for business. UK: The Carbon Trust.

The European Ceramic Industry Association. (2023). The European ceramic industry in numbers - Ceramic Roadmap to 2050. Retrieved from Cerame-Unie: <https://www.ceramicroadmap2050.eu/chapters/the-european-ceramic-industry-in-numbers/>

The World Bank. (2020). Demographic trends and urbanization. Washington DC: The World Bank.

UNFCCC. (2023, Julho 19). National Inventory Submissions 2021. Retrieved from United Nations - Climate Change: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>

United Nations - Department of Economic and Social Affairs . (2015). World Population Prospects - The 2015 Revision. New York: United Nations.

United Nations Environment Programme. (2022). 2022 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. UNEP.

- Urge-Vorsatz, D., Petrichenko, K., Staniec, M., & Eom, J. (2013). Energy use in buildings in a long-term perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, 141-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.05.004>
- Wandahl, S., Pérez, C., Salling, S., Neve, H., Lerche, J., & Petersen, S. (2021). The Impact of Construction Labour Productivity on the Renovation Wave. *Construction Economics and Building*, 11-32. doi: <http://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7688>
- Watari, T., Cao, Z., Hata, S., & Nansai, K. (2022). Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions. *Nature Communications*, vol. 13, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31806-2>
- Wesley, E., & Peterson, F. (2017). *The Role of Population in Economic Growth*. Sage Journals, vol. 7. doi: <https://doi.org/10.1177/215824401773609>
- Westbroek, C., Bitting, J., Azevedo, J., & Cullen, J. (2021). Global material flow analysis of glass: From raw materials to end of life. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 25, 333-343. doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.13112>
- WGBC. (2019). *Bringing embodied carbon upfront*. London: World Green Building Council.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). *A Definition of 'Carbon Footprint'*. UK: ISAUK Research & Consulting.
- World Meteorological Organization. (2022). *WMO Provisional State of the Global Climate 2022*. World Meteorological Organization.
- Worrel, E. (2001). Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 26, 303-329.
- Zier, M. (2021). A review of decarbonization options for the glass industry. *Energy Conversion and Management: X*, vol. 10, 1-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100083>
- Zimmermann, R., Barjot, Z., Rasmussen, F., Malmqvist, T., Kuittinen, M., & Birgisdottir, H. (2023). GHG emissions from building renovation versus new-build: incentives from assessment methods. *Buildings & Cities*, vol. 4, 274-291. doi: 10.5334/bc.325









<2023>

BERNARDO JERÓNIMO

Pegada de carbono da cadeia de valor da construção de edifícios, na União Europeia - a importância do carbono incorporado

