



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Pegada de Carbono: Quais os conceitos a incluir no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono.

Marcelo Félix Frutuoso

Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação

Orientador:
PhD Luís Filipe da Silva Rodrigues, Invited Assistant Professor,
Iscte-IUL

Setembro, 2024

Departamento de Ciência e Tecnologia de Informação

Pegada de Carbono: Quais os conceitos a incluir no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono.

Marcelo Félix Frutuoso

Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação

Orientador:

PhD Luís Filipe da Silva Rodrigues, Invited Assistant Professor,
Iscte-IUL

Setembro, 2024

Direitos de cópia ou Copyright

©Copyright: Marcelo Félix Frutuoso.

O Iscte - Instituto Universitário de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o 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.

Agradecimentos

Um especial agradecimento ao meu orientador Professor Luís Filipe Rodrigues, que desde início disponibilizou o seu tempo e a sua ajuda. Essa ajuda não foi realizada somente em formato de orientação, mas também na forma de motivação para terminar esta etapa.

À minha família, por todo o esforço e apoio, não só nesta etapa, mas ao longo de todo o progresso académico. Por todos os sacrifícios e momentos que não podemos estar juntos e por sempre pedirem mais de mim por saberem o que valho. Um obrigado nunca será suficiente pelo amor e apoio que sempre me deram.

À minha “Mari”, porque se não fosses tu, eu não estaria. Foste a minha companheira nesta maratona, e graças a ti e aos teus raspanetes, não caí nos primeiros cem metros e estou agora a completá-la. Obrigado por me tornares uma melhor pessoa e nunca deixes de ser essa pessoa incrível que és.

Por fim, mas não menos importante, a todos os amigos e familiares que me ajudaram, de certa forma, a concluir esta etapa, seja com um bom conselho, seja numa boa gargalhada.

A todos, o meu sincero “Obrigado”.

Resumo

A pegada de carbono tem emergido como um ponto crucial nas discussões ambientais, acadêmicas e empresariais, devido à sua relevância na mitigação das alterações climáticas. Contudo, a diversidade de abordagens e conceitos associados a este tema pode dificultar o desenvolvimento de ferramentas eficazes para o cálculo da pegada de carbono. Este estudo propõe solucionar essa lacuna ao identificar os principais conceitos que devem ser considerados no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono. A metodologia utilizada envolveu uma análise textual e de conteúdo com recurso ao software Leximancer, aplicada a cinquenta artigos publicados entre 2019 e 2024. Essa abordagem sistemática permitiu a identificação de temas e conceitos-chave diretamente relacionados ao tema. Como resultado, foram identificados 25 conceitos, organizados em seis temas principais: carbono, impactos, vida, global, dados e países. Esses elementos constituem um modelo conceptual que pode orientar investigações futuras e o desenvolvimento de ferramentas práticas, promovendo uma análise mais abrangente e precisa da pegada de carbono. Além disso, este estudo enfatiza a importância de considerar múltiplos fatores e demonstra a utilidade do Leximancer para a análise de conteúdo, reforçando sua aplicação em estudos semelhantes.

Palavras-Chave: Pegada de Carbono; Gases de Efeito Estufa; Alterações Climáticas; Conceitos; Impactos Ambientais; Leximancer.

Abstract

The carbon footprint has emerged as a crucial point in environmental, academic, and business discussions due to its relevance in mitigating climate change. However, the diversity of approaches and concepts associated with this topic can hinder the development of effective tools for calculating the carbon footprint. This study aims to address this gap by summarizing what previous authors have investigated about the carbon footprint to identify the main themes and concepts that should be considered in the development of a carbon footprint calculation application. The methodology involved textual and content analysis using the Leximancer software, applied to fifty articles published between 2019 and 2024. This literature review enabled the identification of key themes and concepts directly related to the subject. As a result, to answer the research question, "What are the main concepts to include in the development of a carbon footprint calculation application?", 25 concepts were identified, organized into six main themes: carbon, impacts, life, global, data, and countries. These elements constitute a conceptual model that can guide future investigations and the development of practical tools, promoting a more comprehensive and accurate analysis of the carbon footprint. Furthermore, this study emphasizes the importance of considering multiple factors and demonstrates the utility of Leximancer for content analysis, reinforcing its application in similar studies.

Keywords: Carbon Footprint; Greenhouse gases; Climate change; Concepts; Environmental impacts; Leximancer.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice Geral.....	vii
Índice de Tabelas	ix
Índice de Figuras	x
Glossário de Abreviaturas e Siglas	xi
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Motivação e relevância do tema	3
1.3. Questões e objetivos de investigação.....	3
1.4. Abordagem metodológica.....	4
1.5. Estrutura e organização da dissertação	5
Capítulo 2 – Enquadramento teórico	7
2.1. Pegada de Carbono	7
2.1.1. Definição e Conceitos.....	7
2.1.2. Gases de Efeito Estufa.....	9
2.1.3. Fronteiras e Escopo	11
2.1.4. Metodologias de cálculo	12
2.2. Impacto Ambiental e Social.....	16
2.2.1. Aspetos Ambientais.....	16
2.2.2. Aspetos Sociais.....	17
2.3. Ferramentas e Tecnologias na Gestão da Pegada de Carbono.....	17
2.3.1. Aplicações e Softwares.....	17
2.3.2. Tecnologias Emergentes.....	19
2.4. Regulamentos e Normas	21
Capítulo 3 – Metodologia	25
3.1. Método de Investigação e recolha de dados	25
3.2. Método de análise de dados.....	26
3.3. Procedimento	27
Capítulo 4 – Análise e discussão dos resultados	29
4.1. Resultados.....	29

4.2. Discussão de resultados	34
Capítulo 5 – Conclusões e recomendações	37
5.1. Principais conclusões.....	37
5.2. Contributos para a comunidade científica e empresarial.....	38
5.2.1 Contributos para a comunidade científica	38
5.2.2 Contribuições para a comunidade empresarial.....	39
5.3. Limitações do estudo	39
5.4. Proposta de investigação futura.....	39
Referências Bibliográficas	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Definições da pegada de carbono nas literaturas cinzenta e académica.....	8
Tabela 2 - GEE e as suas principais fontes de emissão	11
Tabela 3 - Características de ferramentas de cálculo da pegada de carbono.....	17
Tabela 4 - Conceitos da Pegada de Carbono. Fonte: Leximancer	31
Tabela 5 - Citações dos principais temas e conceitos subjacentes	32

Índice de Figuras

Figura 1 - Classificação de emissões de GEE	12
Figura 2 - Etapas de cálculo da Pegada de Carbono.....	15
Figura 3 - Diagrama de rede IoT	19
Figura 4 - Integração da Pegada de Carbono com a Blockchain.....	20
Figura 5 - Diagrama de abordagem à investigação	25
Figura 6- Modelo simplificado do processamento de texto em conceitos e temas.	27
Figura 7 - Exemplo de redução de palavras relacionadas com GEE.....	28
Figura 8 - Mapa conceptual dos principais temas e conceitos da Pegada de Carbono...	29
Figura 9 - Gráfico dos principais temas e respetiva ocorrência.	30

Glossário de Abreviaturas e Siglas

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO₂e – Dióxido de Carbono equivalente

EIOA – Análise de input-output ambiental

GEE – Gases de Efeito Estufa

GWP – Global Warming Potential

HFC – Hidrofluorcarbonetos

IA – Inteligência Artificial

IoT – Internet das coisas

ISO - International Standardization Organization

LCA – *Life Cycle Assessment*

N₂O – Óxido Nitroso

ONG – Organização Não Governamental

PA – Análise do Processo

PFC – Perfluorcarbonetos

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

UNFCCC - United Nations Framework Convention for Climate Change

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento do tema

As alterações climáticas estão a acontecer e a sociedade desconsidera a sua velocidade, o ritmo a que ocorrem é alucinante, muito mais rápido do que muitas pessoas podem imaginar ou admitir (Wallace-Wells, 2019) e projetar o impacto das alterações climáticas no futuro manifesta-se como um dos principais desafios da sociedade de hoje (McNutt, 2013).

Este projeto propõe-se a abordar a temática da pegada de carbono, centrando-se na exploração de conceitos para desenvolver uma aplicação de cálculo da pegada de carbono, visando utilidade em futuras investigações. A compreensão desses conceitos irá permitir avaliar impactos ambientais, orientando decisões para práticas mais sustentáveis. Para isso, pretende-se possibilitar o desenvolvimento de ferramentas eficazes para que organizações e indivíduos possam quantificar e compreender o impacto das suas atividades no ambiente, incentivando a redução de emissões, de forma a atender às necessidades diárias de forma mais sustentável.

O objetivo central deste estudo é resumir o que autores anteriores investigaram sobre a pegada de carbono, de forma a identificar temas e conceitos relevantes, por meio de uma análise textual e conceptual, recorrendo ao *software* Leximancer, de modo que seja possível observá-los e compreender as ligações entre si, através da geração de mapas conceptuais.

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) é uma das principais causas impulsionadoras das alterações climáticas, e é reconhecido que, para evitar os impactos mais severos dessas mudanças climáticas, o mundo precisa reduzir suas emissões com urgência, de forma a preservar a sustentabilidade do planeta Terra para as gerações futuras (Ritchie et al., 2020). Por este motivo, em dezembro de 1997, foi elaborado o Protocolo de Kyoto, um acordo internacional entre as Nações Unidas e 192 partes (191 países e a União Europeia), o qual entrou em vigor em fevereiro de 2005, com o grande objetivo de reduzir as emissões de GEE através de metas vinculativas para as nações signatárias (Oliveira, 2015). Dez anos mais tarde, a 12 de dezembro de 2015, foi alcançado o Acordo de Paris, um passo muito importante na descarbonização da economia global. Um dos principais objetivos deste acordo é a limitação do aumento da temperatura média global da atmosfera abaixo do 2°C, relativamente a valores pré-industriais, fazendo esforços para

que fosse inferior a 1,5°C (Santos, 2020). Ambos os pactos refletem um reconhecimento global da urgência em combater as alterações climáticas e as suas consequências e representam esforços da comunidade internacional para enfrentar os desafios climáticos e promover práticas mais sustentáveis.

No contexto das alterações climáticas, a pegada de carbono tornou-se um termo muito utilizado em discussões sobre sustentabilidade, despertando o interesse dos consumidores, empresas, organizações não governamentais (ONG) e organizações internacionais a procurarem soluções eficazes (Hertwich & Peters, 2009). Devido ao recente interesse no conceito de pegada de carbono é normal que se pense que é um conceito recente. Embora o termo em si ser recente, já passaram vários anos desde que as primeiras metodologias de cálculo foram desenvolvidas (Finkbeiner, 2009). Contudo, a falta de um método internacionalmente uniforme para medir a pegada de carbono persiste, uma vez que o cálculo das emissões de carbono difere nos limites, âmbito, unidades e tipos de GEE. O life cycle assessment (LCA), um método quantitativo para análise objetiva do impacto social e ambiental do produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida, é a abordagem mais comum para o cálculo da pegada de carbono (Weisser, 2007; Wright et al., 2011; Yue et al., 2020).

Apesar da evolução ao longo dos anos, ainda existe uma questão pertinente sobre este termo: O que significa “pegada de carbono” exatamente? Mesmo sendo um termo usado no dia a dia, é evidente que ainda não existe uma definição académica consensual (Durojaye et al., 2020). Todavia, a pegada de carbono, enquanto indicador quantitativo, desempenha um papel fundamental nas estratégias de mitigação das emissões de GEE. Independentemente do âmbito, organizacional ou individual, a compreensão e o cálculo da pegada de carbono são fundamentais para orientar decisões que promovam a sustentabilidade e reduzam as emissões prejudiciais.

Assim, irá ser realizado uma revisão do estado da arte, onde serão escolhidos artigos sobre o tema da pegada de carbono, de forma que seja feita uma análise desses artigos para gerar um mapa conceptual que identifique os temas e conceitos importantes e as suas ligações. Este modelo conceptual poderá ser aproveitado em futuras investigações para desenvolvimento de aplicações de cálculo da pegada de carbono. Contudo, a identificação desses temas poderá servir *insights* valiosos para empresas, pois conseguirão perceber as atividades que mais impactam na pegada de carbono e, consoante essa percepção,

aumentarem a sustentabilidade das suas atividades, alinhando se com políticas e normas sustentáveis.

1.2. Motivação e relevância do tema

A crescente preocupação com as alterações climáticas e os impactos ambientais derivados da emissão de GEE tem tornado este tema numa das principais prioridades globais. À medida que são testemunhados efeitos devastadores resultantes dessas alterações, ao redor do mundo, a necessidade de tomar ações preventivas e medidas que consigam mitigar estes impactos intensifica-se.

Em virtude disso, a pegada de carbono surge como uma métrica importante para avaliar e perceber o impacto ambiental das atividades humanas. A procura por soluções sustentáveis e práticas ecologicamente conscientes é essencial para enfrentar os desafios ambientais e promover um futuro melhor.

A presente investigação procura explorar os conceitos a aplicar numa aplicação de cálculo da pegada de carbono de forma a poder ser útil numa investigação futura, no caso de desenvolvimento de uma aplicação, mas também, ao compreender estes conceitos não só é possível avaliar o impacto ambiental das atividades humanas, como será possível orientar decisões com um maior nível de informação para práticas mais sustentáveis. Como foi referido, a motivação subjacente desta pesquisa é a necessidade de se desenvolver ferramentas eficazes para que as organizações e que as pessoas sejam capazes de quantificar e compreender como é que as suas atividades impactam no ambiente, incentivando-as a reduzir as suas emissões, de modo a conseguirem satisfazer as suas necessidades do dia a dia, sem que comprometam a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas necessidades (Brundtland et al., 1987).

1.3. Questões e objetivos de investigação

A questão de investigação da presente investigação é:

Quais os conceitos principais a incluir no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono?

A função de investigação consiste em:

Verificar quais as áreas mais proferidas quando se aborda o tema da Pegada de Carbono, com o objetivo de realizar mapas conceptuais que indiquem quais são as mais impactantes nas alterações climáticas e, deste modo, compreender os conceitos que se deve levar em consideração ao desenvolver uma aplicação da pegada de carbono.

De forma a atender à questão de investigação, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Identificar artigos relativos à pegada de carbono;
- Estudar a problemática da pegada de carbono;
- Perceber quais as áreas e setores mais abordados quando o tema “Pegada de Carbono” é discutido;
- Compreender como é calculada a pegada de carbono;
- Verificar quais os conceitos principais a incluir numa aplicação.

1.4. Abordagem metodológica

O estudo divide-se em três fases essenciais, cada uma contribuindo para uma compreensão mais aprofundada e abrangente da temática da pegada de carbono. A primeira fase centra-se na metodologia qualitativa a adotar, ou seja, numa revisão sistemática de artigos científicos, a segunda fase na utilização do *software* Leximancer para uma análise semântica e lexical dos artigos selecionados na revisão e, por último, a terceira fase para discutir os resultados obtidos.

A primeira fase baseia-se numa revisão sistemática de artigos relacionados com o tema da pegada de carbono. Esta revisão procura identificar quais as tendências e conceitos relevantes discutidos na literatura recente sobre a pegada de carbono. Os artigos abrangidos não terão sido publicados em anos anteriores ao de 2019, de modo a perceber quais os temas e conceitos mais discutidos nos últimos anos.

A segunda fase é focada na utilização do *software* Leximancer para uma análise semântica e lexical dos artigos selecionados na revisão sistemática. Nesta etapa, irá ser realizada a importação dos resumos dos artigos abrangidos na primeira fase. De seguida serão definidos os parâmetros da análise. Com os parâmetros definidos, a ferramenta

explorará o texto, identificando padrões e relações, por meio de visualizações, onde será possível observar as palavras e conceitos mais frequentes ou relevantes na análise, o que ajudará na identificação de conceitos-chave relacionados à pegada de carbono.

Por fim, na terceira fase, serão discutidos os resultados onde será realizada uma interpretação dos conceitos-chave, relacionando-os com a literatura existente, permitindo uma compreensão mais aprofundada do seu significado e importância. Desta forma, será discutido como é que os conceitos-chave poderão ser incorporados no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono, avaliando como estes podem melhorar a precisão, relevância e eficácia da aplicação.

1.5. Estrutura e organização da dissertação

O presente estudo está organizado em cinco capítulos que pretendem refletir as diferentes fases até à sua conclusão.

O primeiro capítulo introduz o tema central da investigação, delineando os seus objetivos e a importância do estudo. Além disso, oferece uma descrição da estrutura e organização da dissertação, bem como da abordagem metodológica adotada, onde é destacada a justificativa dos métodos utilizados.

O segundo capítulo reflete o enquadramento teórico, designado por Revisão da literatura. Aqui, o tema em estudo é enquadrado e explorado com foco na pegada de carbono. O capítulo aborda os impactos ambientais e sociais da pegada de carbono, discutindo como é que este tema afeta diferentes aspetos na vida e no ambiente. Também são exploradas ferramentas e tecnologias utilizadas na gestão da pegada de carbono. Além disso, são referenciadas regulamentações e normas existentes que orientam políticas e práticas relacionadas com a redução da pegada de carbono.

O terceiro capítulo é dedicado à Metodologia utilizada no estudo. Aqui é especificada a abordagem adotada, detalhando os procedimentos de recolha e tratamento de dados. São descritos os critérios de seleção de artigos, bem como das fontes de dados e as técnicas de análise.

O quarto capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos, alinhada com a metodologia utilizada. Neste capítulo, os dados recolhidos são interpretados, permitindo uma visão de padrões, tendências e conclusões relevantes relacionadas à pegada de carbono.

No quinto e último capítulo apresentam-se as conclusões deste estudo. Este capítulo inclui uma síntese dos resultados obtidos, destacando as contribuições do estudo para as comunidades acadêmica e empresarial. São discutidas as limitações do estudo, reconhecendo os desafios enfrentados e as áreas de melhoria em pesquisas futuras. Além disso, são oferecidas sugestões para investigação futura, identificando áreas emergentes e questões não resolvidas.

Capítulo 2 – Enquadramento teórico

2.1. Pegada de Carbono

2.1.1. Definição e Conceitos

A pegada de carbono tem sido um tema muito falado e discutido nos últimos anos, à medida que a conscientização sobre as alterações climáticas e sustentabilidade aumenta. A expressão “pegada de carbono” tornou-se num conceito-chave em discussões sobre a responsabilidade ambiental e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A origem do termo “pegada de carbono” surge como uma subcategoria da “pegada ecológica” proposta por (Wackernagel & Rees, 1996). Segundo os autores, pegada ecológica atende à capacidade regenerativa do planeta, calculando a área terrestre e marítima necessária para sustentar o consumo de recursos de uma determinada população, expressa em hectares globais. Segundo este conceito, a pegada de carbono é a quantidade de terra necessária para absorver a totalidade de CO₂ produzido pelas atividades humanas ao longo da sua vida. Com o decorrer dos anos e com o aumento da importância dada à problemática do aquecimento global, a pegada de carbono tornou-se uma métrica mais independente, mas com uma forma adaptada (John & Growcom, 2008).

No entanto, apesar da relevância e da atualidade do tema, ainda não existe uma definição clara do termo, o que gera alguma confusão no que realmente significa e o que mede. Vários autores que estudam ou estudaram esta problemática identificaram várias definições e concluíram que a interpretação mais comum é que a pegada de carbono representa uma quantidade de emissões de gases que são repercutivos nas alterações climáticas e são associados a uma atividade humana (Wiedmann & Minx, 2008). Mas é aqui que a concordância entre autores acaba, pois não existe um consenso de como medir ou quantificar a pegada de carbono.

Wiedmann e Minx, (2008) defendem que a pegada de carbono é exclusivamente a medida do total de emissões de dióxido de carbono (CO₂), que são causados direta ou indiretamente por uma atividade ou é acumulado pelas diferentes fases de vida do produto. Os autores referidos optam por incluir apenas o CO₂ porque existem GEE que não são baseados em carbono ou são mais dificilmente quantificáveis devido à falta de dados disponíveis. Contudo, contabilizar apenas as emissões de CO₂ irá omitir cerca de um terço dos GEE, o que se traduzirá numa discrepância para a gestão ambiental, porém,

incluir todos os GEE será demorado e dispendioso, pelo que Wright et al. (2011) sugerem que as emissões de CO₂ e metano (CH₄) sejam usadas no cálculo da pegada de carbono, uma vez que a recolha de dados destes dois gases à base de carbono é relativamente simples (Wright et al., 2011).

Wiedmann e Minx (2008) sintetizaram variadas definições da pegada de carbono na “literatura cinzenta”. Com o intuito de comparar as definições presentes na literatura cinzenta ao pesquisar o termo “pegada de carbono” no motor de busca Google com aquelas provenientes de fontes académicas, é apresentada na Tabela 1, uma síntese das diferentes definições em ambas as literaturas. Segundo a maioria das definições na literatura cinzenta, a pegada de carbono traduz-se na quantidade de emissões de GEE por parte de um determinado processo, sendo que a maioria não consegue definir limites de uma pegada de carbono.

Tabela 1 - Definições da pegada de carbono nas literaturas cinzenta e académica

Definições na Literatura Cinzenta
▪ “... total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) causadas por um indivíduo, evento, organização, serviço, local ou produto, expresso em dióxido de carbono equivalente (CO₂e).” (<i>Pegada de Carbono</i>, 2024) ▪ “... quantidade total de gases com efeito de estufa (incluindo dióxido de carbono e metano) gerados pelas nossas ações.” (<i>How to Help Calculate Your Carbon Footprint</i>, 2024) ▪ “... a soma total de todas as emissões de gases com efeito de estufa que tiveram de ocorrer para que um produto fosse produzido ou para que uma atividade tivesse lugar.”(Mulvaney, 2022). ▪ “... conceito utilizado para quantificar o impacto de uma atividade, de uma pessoa ou de um país nas alterações climáticas.” (<i>How to Reduce My Carbon Footprint</i>, 2021).

- “... mede o total de emissões de gases com efeito de estufa geradas por um produto, desde a extração das matérias-primas até ao fim de vida. É medida em dióxido de carbono equivalente (CO₂e).”(What Is a Product Carbon Footprint, 2024).

Definições na Literatura académica

- “A pegada de carbono é a medida da quantidade total exclusiva de emissões de dióxido de carbono que é direta e indiretamente causada por uma atividade ou que é acumulada ao longo das fases da vida de um produto” (Wiedmann & Minx, 2008).
- “...a recolha de dados relativos às emissões de CO₂ e CH₄ é relativamente simples, estes dois gases com base no carbono devem ser utilizados na determinação de uma pegada de carbono” (Wright et al., 2011).
- “A pegada de carbono pode ser definida como uma medida da totalidade das emissões de CO₂ causadas direta ou indiretamente pela atividade acumulada de um produto” (Durojaye et al., 2020).
- “A pegada de carbono é igual às emissões de gases com efeito de estufa geradas por uma pessoa, organização ou produto” (Johnson, 2008) .

2.1.2. Gases de Efeito Estufa

O efeito de estufa é um processo natural que aquece à superfície da Terra a uma temperatura superior à que teria sem a atmosfera. A intensidade do efeito de estufa depende em grande medida da presença de GEE na atmosfera, isto porque estes retêm o calor, possibilitando assim uma menor perda de térmica para o espaço. Os GEE são vitais para manter uma temperatura habitável na Terra, porque se não existissem gases com efeito de estufa na atmosfera, a temperatura média da superfície terrestre seria cerca de 18°C negativos. Porém, caso haja uma presença excessiva de GEE na atmosfera, irá provocar um aumento do efeito de estufa e consequente aumento do aquecimento global (Olaniyi et al., 2014).

A especificação dos GEE a serem relatados pode variar conforme o sistema ou a regulação em vigor. O Protocolo de Quioto, por exemplo, requer a comunicação de seis

gases: CO₂, CH₄, óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆), conhecidos como "cabaz de Quioto" (Iwata & Okada, 2014). Em contraste, o Regime Europeu de Comércio de Licenças de Emissão exige apenas a comunicação das emissões de CO₂ ("Directiva 2003/87/CE Do Parlamento Europeu e Do Conselho, de 13 de Outubro de 2003, Relativa à Criação de Um Regime de Comércio de Licenças de Emissão de Gases Com Efeito de Estufa Na Comunidade e Que Altera a Directiva 96/61/CE Do Conselho," 2003). Essas diferentes perspectivas de relato e contabilidade têm gerado confusão sobre a inclusão ou exclusão de GEE na pegada de carbono. Algumas definições exigem um catálogo completo de todos os GEE resultantes do processo ou atividade (Strutt et al., 2008), enquanto outras definem a pegada como uma medição exclusiva do CO₂. (Wright et al., 2011).

As atividades humanas podem alterar o ciclo do carbono, pois acrescentam mais CO₂ à atmosfera o que afeta a capacidade dos sumidouros naturais como as florestas, solos ou oceanos de absorver este gás. O CO₂ é emitido principalmente quando combustíveis fósseis, resíduos sólidos, árvores e outros materiais são queimados (Yoro et al., 2018). A queima de combustíveis fósseis para fins energéticos e para transporte é a principal fonte de emissão de CO₂ por parte da mão humana, embora as alterações na utilização do solo, como o desmatamento, para além da destruição de um sumidouro natural, pode levar à libertação de dióxido de carbono para atmosfera (Amaral et al., 2019). O metano (CH₄) é o segundo GEE mais emitido para a atmosfera, porém com um poder de aquecimento global estimado em 28-36 vezes superior ao CO₂ nos últimos cem anos (Riddick et al., 2019). A concentração atmosférica de metano tem aumentado devido a diversas fontes antropogénicas, tais como práticas agrícolas, extração de carvão, atividades relacionadas ao petróleo e gás, queima de biomassa e resíduos em aterros municipais (Turner et al., 2019). O setor energético segue como a maior fonte de emissão deste gás, tendo emitido cerca de trezentas toneladas de metano em 2009 (Baillie et al., 2019). Além do dióxido de carbono (CO₂) e do metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) é outro gás um alto potencial de efeito estufa. Ao considerar uma métrica relacionada à temperatura global num horizonte temporal de cem anos, o impacto do N₂O pode ser mais significativo do que os efeitos do CO₂ e do CH₄ (Sekoai et al., 2018). A agricultura é uma fonte de emissão de N₂O através do uso de fertilizantes de óxido nitroso, da aração do solo, estrume, combustão de biomassa e processos industriais como a produção de fertilizantes (Sekoai

et al., 2016). Os fertilizantes resultantes do enriquecimento do solo com nitrogênio são a principal contribuição humana para as emissões de N₂O (Uchida & von Rein, 2019).

O *Global Warming Potential* (GWP) é uma métrica que caracteriza as propriedades radioativas dos GEE. Este indicador sintetiza os efeitos dos diferentes períodos em que os gases permanecem na atmosfera, assim como a sua capacidade na absorção de radiação infravermelha refletida pela Terra. Este índice faz uma aproximação do efeito estufa considerando a extensão temporal da presença de um GEE na atmosfera, comparativamente ao CO₂. Resumidamente, trata-se da determinação do impacto climático potencial de um GEE em comparação com o potencial do CO₂, onde o cálculo dá-se considerando os potenciais de aquecimento de um quilograma de CO₂ e um quilograma do GEE, num período de 100 anos (Vidal, 2018).

Na Tabela 2 é possível observar os GEE e as suas principais fontes de emissão, bem como as emissões nacionais por gás em 2021, com dados Inventário Nacional de Emissões atmosféricas do Departamento de Alterações Climáticas da Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Tabela 2 - GEE e as suas principais fontes de emissão

Gases de efeito estufa	Principais fontes	% Emissões 2021
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Queima de combustíveis fósseis, desflorestação	71
Metano (CH ₄)	Queima de biomassa, resíduos agrícolas	18
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Fertilizantes	5
Gases Fluorados (HFC, PFC)	Refrigeração	6

Fonte: (Pereira et al., 2023; Yoro & Daramola, 2020)

2.1.3. Fronteiras e Escopo

A avaliação da pegada de carbono requer a definição de fronteiras para abranger as operações diretas da organização, englobando as emissões de instalações próprias. Essa

delimitação possibilita uma análise mais precisa das fontes controladas pela organização que contribuem para as emissões de GEE.

Emissões de GEE de Escopo 1 são emissões diretas, libertadas no ambiente como resultado das atividades diretas da organização, como o consumo de combustíveis fósseis. As emissões de Escopo 2 são emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de eletricidades e outras formas de energia (Topcheva, 2023).

Ao considerar o LCA do produto ou serviço, a avaliação da pegada de carbono ganha profundidade. Este conceito analisa as emissões do “do berço ao caixão”, uma abordagem que identifica todas as etapas que contribuem com emissões, o que é crucial para a orientação de práticas sustentáveis nas fases desenvolvimento e consumo do produto ou serviço.(Roy et al., 2009)

O Escopo 3 amplia a avaliação para além das fronteiras organizacionais, incorporando emissões indiretas que ocorrem ao longo da cadeia de abastecimento, quer a jusante quer a montante, que não são abrangidas no Escopo 2. Esta análise mais abrangente proporciona uma visão holística e responsável do impacto ambiental associado a todas as atividades da organização, tal como é demonstrado na Figura 1 (Topcheva, 2023).

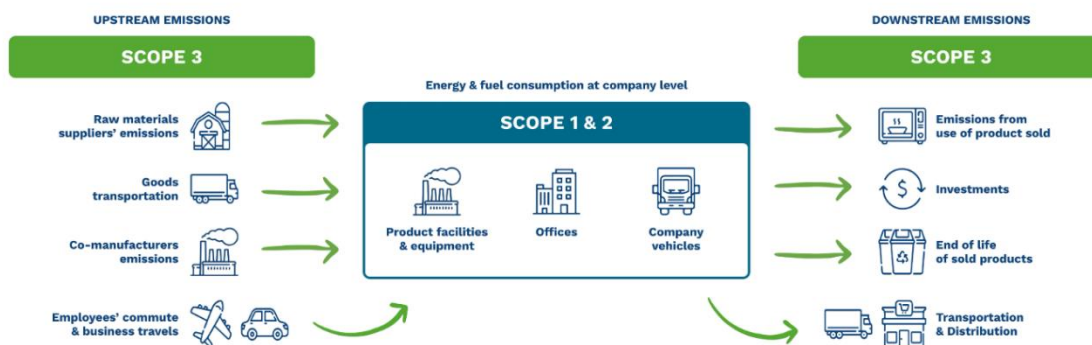


Figura 1 - Classificação de emissões de GEE (Pegada de Carbono, n.d.)

2.1.4. Metodologias de cálculo

No cálculo da pegada de carbono, a unidade mais utilizada é o CO₂e, que é determinada recorrendo ao GWP. Este indicador é frequentemente aplicado no LCA para indicar potenciais impactos nas alterações climáticas (Baumann & Tilman, 2004). O LCA

é uma metodologia que realiza a medição dos impactos ambientais e sociais associados a um produto ou atividade, desde que é uma matéria-prima, passando pelo processamento, distribuição, utilização e eliminação (“do berço ao caixão”) (Wright et al., 2011). O LCA oferece um panorama geral dos inputs e outputs relacionados com a produção de poluentes atmosféricos, utilização de água e à produção de águas residuais, à emissão de gases de efeito estufa, ao consumo de energia ou qualquer outro parâmetro similar, avaliação essa que é denominada de *environmental* LCA (Avaliação do ciclo de vida ambiental). Relacionando com a pegada de carbono, o LCA calcula os GEE emitidos em cada etapa do ciclo de vida do produto. Contudo, cada fase do ciclo de vida de um produto ou evento pode estar ligada a outras fases, as quais ainda podem estar ligadas a outras fases e assim sucessivamente, o que pode tornar complexa a análise (Pandey et al., 2011).

O processo de cálculo da pegada de carbono pode ser metodologicamente abordado através das principais etapas ilustradas na Figura 2, que representam um fluxo de trabalho para a análise da pegada de carbono, desde a identificação das fontes de emissões de GEE, passando pela quantificação das fontes e das emissões, até ao relatório final. Cada uma destas etapas possibilita que a pegada de carbono seja calculada e documentada, abordando tanto as emissões diretas (Escopo 1) como as indiretas (Escopos 2 e 3) (Mohan et al., 2021).

É possível abordar metodologicamente o cálculo da pegada de carbono, orientado pelo ciclo de vida do produto ou atividade, a partir de três abordagens diferentes: a Análise de input-output ambiental (EIOA), a Análise do processo (PA), e a abordagem híbrida EIOA-LCA (Wright et al., 2011).

A análise input-output é criada geralmente a partir de dados económicos observados numa região geográfica específica. Esta análise foca-se na atividade de um grupo de indústrias que não só produzem bens (*outputs*), como também consomem bens de outras indústrias (*inputs*) durante o processo de produção. É baseada em informações sobre os fluxos de produtos de cada setor industrial, visando entender como é que os diferentes setores se interligam na produção e consumo de bens e serviços, proporcionando uma visão abrangente das relações económicas numa determinada região (Miller & Blair, 2009). A EIOA é uma abordagem *top-down* que conjuga dados económicos e ambientais para estimar as emissões causadas pelas atividades dos setores dentro de uma economia, ajudando a identificar quais os principais pontos de consumo de recursos e emissões de carbono na cadeia de abastecimento (Wright et al., 2011).

Por outro lado, a análise de processo (PA) é um método *bottom-up*, que foi desenvolvido de forma a compreender os impactos ambientais de produtos específicos ao longo do seu ciclo de vida. A natureza *bottom-up* das análises de ciclo de vida baseadas no processo significa que essa análise se concentra nos detalhes de cada processo envolvido no ciclo de vida do produto. No entanto, esta abordagem enfrenta desafios, como problemas de fronteira, onde apenas impactos diretos e alguns indiretos são considerados (Lenzen, 2001). Ao aplicar esta abordagem numa escala maior, como governos e setores industriais inteiros, surgem dificuldades. Estimar pegadas de carbono em larga escala pode resultar em resultados fragmentados, pois a prática de extrapolação de dados depende da suposição de que um conjunto menor de produtos individuais é representativo do todo e o uso de diferentes fontes de dados, que geralmente não estão consistentes entre si (Wiedmann & Minx, 2008).

De forma a superar as limitações da EIOA e da PA, uma abordagem híbrida, a EIO-LCA, está a ser amplamente aceite na comunidade académica como a melhor forma de calcular a pegada de carbono. Esta abordagem é uma que surge da combinação das abordagens EIOA e PA, em que a PA é realizada para processos específicos e que é depois incorporada numa EIOA. A EIOA-LCA vem resolver os problemas de pouca especificidade ou detalhe para monitorizar pequenas alterações numa escala organizacional por parte da EIOA, para além dos dados fragmentados e erros de truncamento na PA (Larsen & Hertwich, 2009; Matthews et al., 2008; Wiedmann & Minx, 2008).

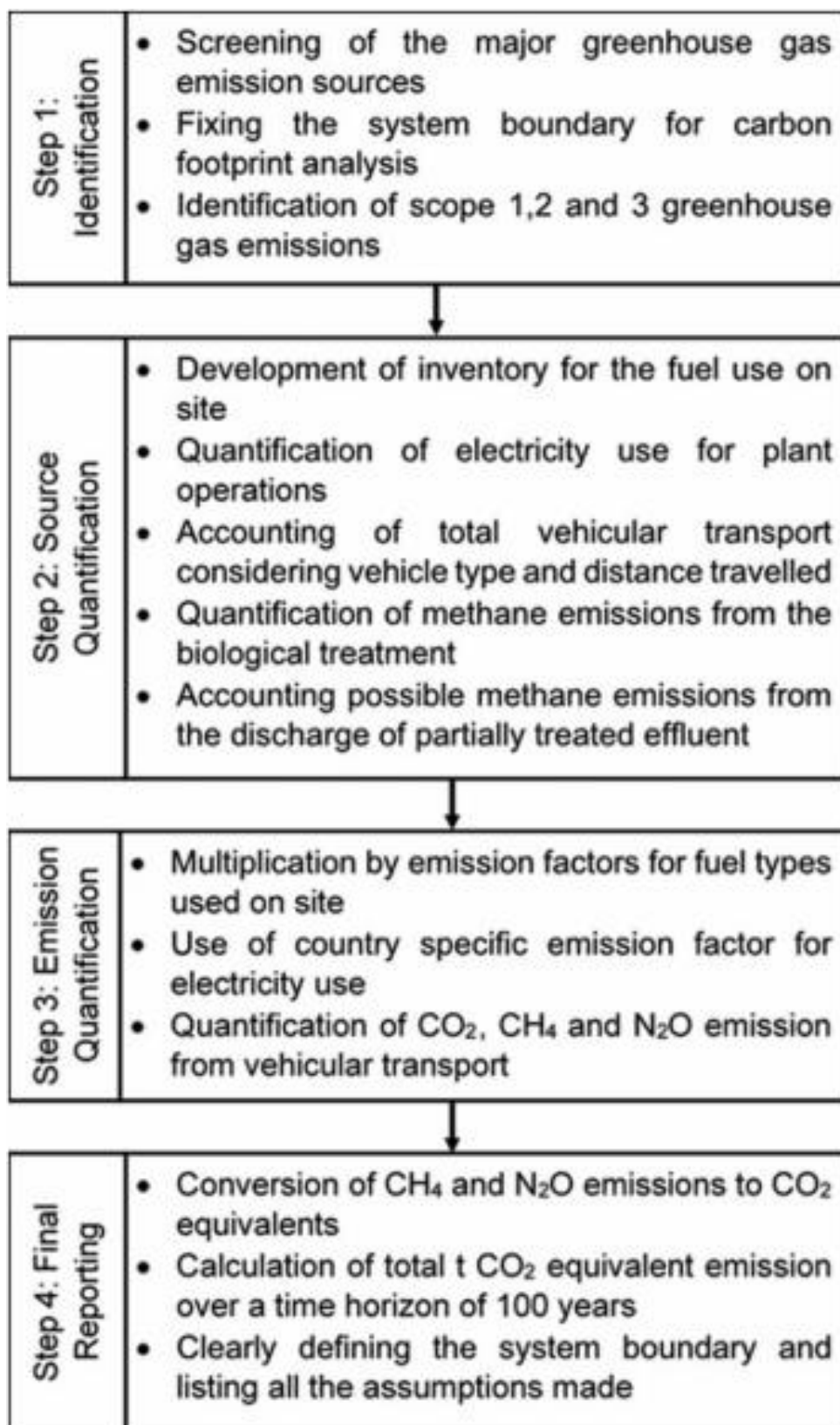


Figura 2 - Etapas de cálculo da Pegada de Carbono (Mohan et al., 2021)

2.2. Impacto Ambiental e Social

2.2.1. Aspetos Ambientais

Ao considerar os aspetos ambientais da pegada de carbono, adentra-se num cenário onde as escolhas individuais, empresariais e globais desempenham um papel crucial na saúde do planeta.

O desmatamento, caracterizado pelo processo de remoção de árvores de florestas, de forma a converter a área das florestas para outro tipo de atividades (Mba, 2018), tem como uma das suas consequências a libertação de GEE retidos nas florestas para a atmosfera, seja de forma imediata, se houver queima de árvores, ou de forma mais lenta à medida que a matéria orgânica se decompõe. O grande componente dos GEE emitidos é o CO₂, mas são emitidas também pequenas quantidades de metano (Houghton, 2005). Além disso, o desmatamento afeta a biodiversidade e os ecossistemas, resultando na perda de habitat e até na extinção de muitas espécies (Baillie et al., 2004).

A pegada de carbono e o aumento da concentração de GEE na atmosfera estão intrinsecamente ligados ao fenómeno do aquecimento global e às alterações climáticas. Isso, por sua vez, está associado a eventos climáticos extremos, como furacões, precipitação intensa, inundações e secas e ondas de calor. Estes eventos desencadeiam outras consequências em cascata como o degelo e o aumento do nível do mar, resultando num possível desaparecimento de ilhas, como o exemplo de Majuro, nas Ilhas Marshall, onde estima-se que 80% da sua área seja “engolida”, caso haja um aumento de meio metro do nível do mar (Alimonti et al., 2022; Kumar S et al., 2012).

Por outro lado, uma maior concentração de GEE na atmosfera traduz-se numa intensificação contínua da poluição atmosférica. Este fenómeno contribui para a deterioração da qualidade do ar, gerando impactos negativos no equilíbrio dos ecossistemas. Sumidouros de carbono, como é o caso de florestas e oceanos, conseguem realizar uma absorção e remoção de CO₂ da atmosfera, contudo, com uma maior concentração na atmosfera, irá resultar numa acidificação da água, afetando a vida marinha e os ecossistemas oceânicos (Kumar S et al., 2012; Yoro et al., 2018).

2.2.2. Aspetos Sociais

A pegada de carbono não apenas influencia o clima global, mas também desencadeia uma série de impactos sociais nas comunidades ao redor do mundo. As mais afetadas serão aquelas que residem em zonas costeiras de baixa altitude e países menos desenvolvidos, que carecem de recursos para se adaptarem a estas mudanças climáticas e a todos os eventos climáticos extremos associados.

O desalojamento é um dos impactos sociais derivados das cheias e furacões, que pode resultar na evacuação forçada de populações inteiras. Outro impacto social relevante é a saúde pública. O clima frio reduz a propagação de doenças infecciosas, pois elimina organismos e espécies portadoras, como os mosquitos. Por outro lado, aquecimento global e o aumento da temperatura média global pode intensificar a disseminação de doenças como a malária, dengue ou febre amarela (Kumar S et al., 2012).

2.3. Ferramentas e Tecnologias na Gestão da Pegada de Carbono

2.3.1. Aplicações e Softwares

Com o crescente destaque que tem sido dado à importância da sustentabilidade ambiental, a avaliação da pegada de carbono tornou-se numa métrica importante para medir o impacto ambiental das atividades humanas. Nesse contexto, surgiram diversas aplicações e softwares dedicados ao cálculo da pegada de carbono que proporcionam a pessoas e organizações meios de avaliar o impacto ambiental das suas atividades. Existem variadas ferramentas disponíveis para o cálculo da pegada de carbono, com diferentes características, como é possível verificar na Tabela 3.

Tabela 3 - Características de ferramentas de cálculo da pegada de carbono

Aplicações e Softwares	Características
Carbonfootprint.com (<i>Carbonfootprint</i> , n.d.)	• Calculadora online; • Pessoas e empresas; • Categorias: energia doméstica, viagens, estilo de vida, alimentação, transporte;

	• Fornece sugestões de redução; • Permite compensação de emissões.
Carbon Trust Standard (<i>CarbonTrust</i> , n.d.)	• Software empresarial; • Empresas e organizações; • Abordagem integrada de cálculo, gestão e redução de emissões.
EcoAct (<i>EcoAct</i> , n.d.)	• Software empresarial; • Avaliação da pegada de carbono; • Estratégias de redução de emissões; • Serviços de compensação de carbono; • Programas de treino e de educação; • Soluções personalizadas às necessidades dos clientes.
OpenLCA (<i>OpenLCA</i> , n.d.)	• Software de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA); • Empresas e Pesquisa; • Avaliação da pegada de carbono considerando todo o ciclo de vida
Simapro (<i>SimaPro</i> , n.d.)	• Software de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA); • Empresas e Pesquisa; • Avaliação da pegada de carbono em toda a cadeia de valor.
JouleBug (<i>JouleBug</i> , n.d.)	• Aplicação móvel; • Utilização da gamificação para incentivar ações sustentáveis; • Registo de hábitos diários relacionados com a pegada de carbono.

2.3.2. Tecnologias Emergentes

A forma como a pegada de carbono é abordada tem sido redefinida ao longo do tempo e novas tecnologias estão a emergir como ferramentas essenciais na jornada rumo à sustentabilidade. Estas inovações são ferramentas poderosas na procura de previsão e redução das emissões de GEE, visando práticas mais sustentáveis, conscientes e eficientes.

A Internet das Coisas (IoT) não tem uma definição única entre a comunidade de utilizadores, porém, segundo Madakam et al. (2015), a IoT é uma rede de objetos inteligentes que conseguem partilhar informação, dados e recursos, que têm capacidade de auto-organização e que conseguem responder a mudanças no ambiente. Um dos componentes fundamentais do IoT são os sensores, que vão permitir uma recolha de dados em tempo real do consumo de energia, emissões de GEE e outros parâmetros relevantes, que serão transmitidos pela rede até ao *data warehouse*, de forma a proporcionar uma base mais sólida para o cálculo da pegada de carbono, como é possível observar na Figura 3. (Asopa et al., 2021; Mouha, 2021).

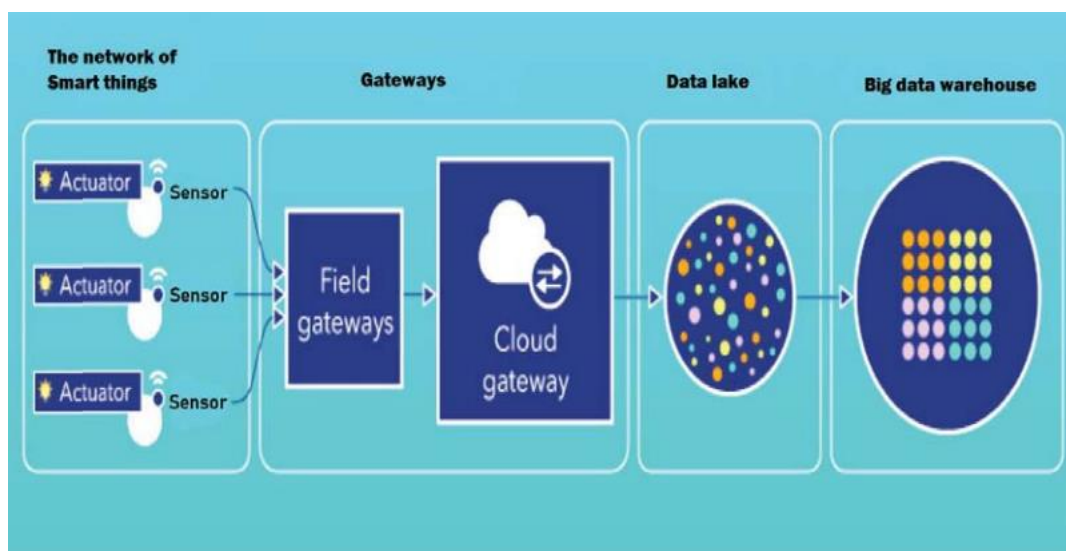


Figura 3 - Diagrama de rede IoT (Asopa et al., 2021)

A blockchain é uma estrutura de dados composta por blocos interligados, que contêm registos que são ligados através de criptografia, de modo a evitar alterações nos dados. Cada bloco na blockchain inclui o valor hash criptográfico (valor único e criptograficamente seguro gerado a partir dos dados contidos em cada bloco) do bloco

anterior, o que cria uma cadeia imutável de blocos e como uma das características da blockchain é a sua descentralização, ou seja, não depende só de um único ponto de controlo, como um servidor central, assim sendo, nenhum bloco envolvido pode ser modificado sem afetar os blocos subsequentes. Também possui características chave como segurança, transparência e imutabilidade. Quando a blockchain for amplamente adotada, será importante melhorar a gestão das emissões de GEE para acompanhar esse avanço, uma vez que a pegada de carbono pode ser armazenada blockchain (K. H. Liu et al., 2019).

Deste modo, a tecnologia blockchain pode ser usada para rastrear e verificar as emissões de GEE ao longo da cadeia de abastecimento, o que irá melhorar a transparência e a confiabilidade dos dados utilizados no cálculo da pegada de carbono. A Figura 4. ilustra uma framework de como pode ser realizada essa integração e que pode ser dividida em três camadas: o cálculo, a blockchain e a integração.

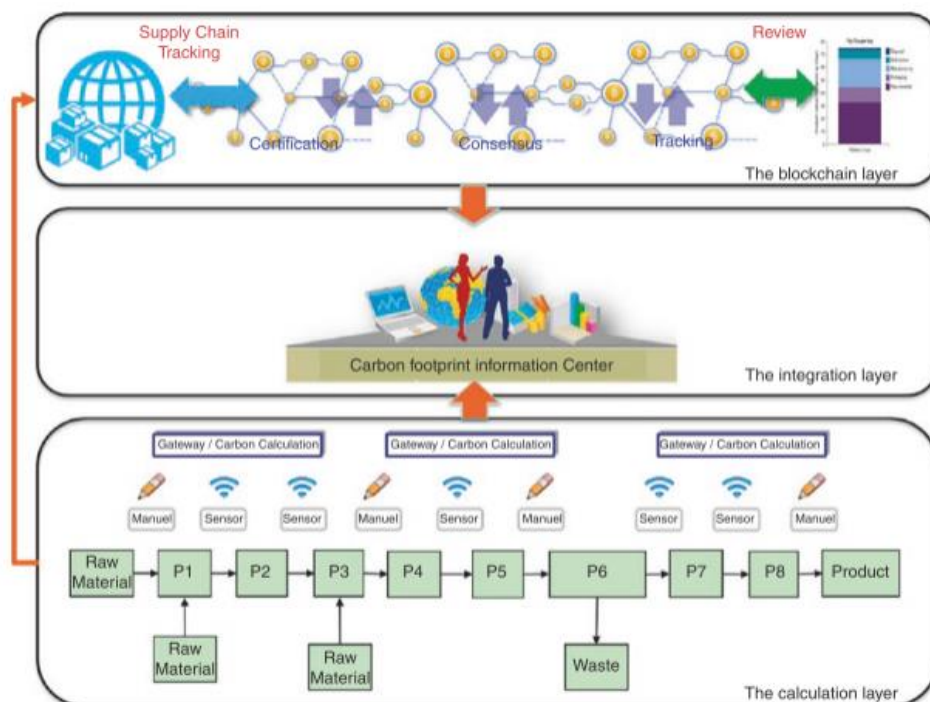


Figura 4 - Integração da Pegada de Carbono com a Blockchain
(K. H. Liu et al., 2019)

O cálculo descreve o processo pelo qual uma empresa recolhe dados, como matérias-primas, energia, consumo de recursos e quantidade de resíduos, para o cálculo da pegada de carbono. Este cálculo pode ser realizado da maneira tradicional ou através de sensores com a tecnologia IoT (K. H. Liu et al., 2019).

A camada blockchain fornece três funções principais: certificação, consenso e rastreamento. Os dados armazenados na blockchain são registados e distribuídos, assegurando a certificação em cada transação. A função consenso visa aumentar a conscientização das partes interessadas. Com a incorporação da pegada de carbono na blockchain, cada uma das partes interessadas pode procurar informações sobre o produto e a sua pegada, tomando medidas apropriadas para alcançar um consenso na redução de emissões (K. H. Liu et al., 2019).

A camada de integração é utilizada para obter informações sobre a pegada de carbono de cada empresa. Se uma empresa necessitar de calcular a pegada de carbono, pode procurar informações das partes específicas do produto, desde que estas já estejam registadas na blockchain (K. H. Liu et al., 2019).

A Inteligência Artificial (IA) vai permitir a otimização do cálculo da pegada de carbono, pois tem a capacidade de processar grandes volumes de dados num curto período de tempo. Esta habilidade permite que a IA consiga a obtenção de informações valiosas e perceba padrões nos dados que seriam difíceis de maneiras convencionais (Lacoste et al., 2019). A utilização de algoritmos de IA pode possibilitar estratégias mais elaboradas e ajustáveis, tanto no cálculo da pegada de carbono como na própria redução de emissões de GEE (Ridoutt & Pfister, 2010).

Recentemente, estudos na área da energia e no ambiente começaram a utilizar métodos de *machine learning* (Magazzino et al., 2021). Esta tecnologia, devido à sua alta precisão e robustez de previsão, destaca-se em relação aos métodos tradicionais (Deng et al., n.d.). A criação um algoritmo de *machine learning* de previsão de emissões de GEE, pode ser fundamental para orientar a elaboração de políticas de redução de emissões.

2.4. Regulamentos e Normas

No panorama global, a necessidade de enfrentar as alterações climáticas e de mitigar os impactos ambientais tem-se tornado uma prioridade incontestável. Desta forma, os regulamentos e normas desempenham um papel fundamental como bússola para práticas sustentáveis e na procura por soluções que reduzam as emissões de GEE, estabelecendo diretrizes para medir, relatar e gerir a pegada de carbono, com o propósito de contribuir para as metas de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

A preocupação sobre as alterações climáticas levou ao estabelecimento do Protocolo de Kyoto em 1997 durante a Terceira Conferência das Partes da UNFCCC (United Nations Framework Convention for Climate Change) e que foi ratificado por 192 partes (192 países e a União Europeia) (Oliveira, 2015). Este protocolo veio exigir aos países industrializados, presentes no Anexo B do Protocolo, a limitação de emissões de GEE, em especial do CO₂ resultante da combustão de combustíveis fósseis, onde se comprometeram a reduzir as suas emissões de GEE em 5,2% em média relativamente aos níveis de emissão de 1990, entre os anos de 2008 e 2012 (UNFCCC, 1997). Porém, o Protocolo só entrou em vigor anos mais tarde, onde foram cumpridos os dois requisitos impostos: a ratificação do tratado por pelo menos 55 partes da Convenção e os países industrializados entre as partes deveriam representar pelo menos 55% das emissões totais de CO₂ de 1990. Em 2005 foi atingido o valor de 55% das emissões com a ratificação da Federação Russa, cumprindo assim os dois requisitos indispensáveis para a implementação (Böhringer, 2003; Oliveira, 2015).

Dez anos mais tarde, na vigésima primeira Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC, deu-se o Acordo de Paris, representando um passo significativo rumo à descarbonização de economia global. Um dos principais objetivos do Acordo é a limitação do aumento da temperatura média global da atmosfera abaixo dos 2°C, relativamente à era pré-industrial, buscando, não ultrapassar os 1,5°C (Santos, 2020). Este acordo permitiu aos países a autonomia para estabelecerem os seus próprios níveis de ambição para mitigar as alterações climáticas, estabelecendo uma estrutura para a realização de compromissos voluntários que podem ser comparados e analisados internacionalmente, visando aumentar a ambição global no combate às alterações climáticas. Isso aconteceu porque foi reconhecido que impor cortes drásticos nas emissões de GEE nas grandes economias seria inviável (Falkner, 2016).

Existem ainda normas internacionais relevantes no contexto da pegada de carbono e da emissão de GEE, como a ISO 14064 e a ISO 14067. As normas ISO (International Standardization Organization) são um conjunto de diretrizes e critérios estabelecidos internacionalmente para garantir a qualidade, eficiência e segurança de produtos, serviços e sistemas e são utilizadas para padronizar processos nos diferentes setores. ISO 14064 é uma especificação técnica que funciona como guia para o desenvolvimento de inventários de GEE nas organizações, dos setores público e privado, bem como base para os decisores políticos e desenvolvedores de programas para iniciativas para enfrentar as alterações

climáticas. Esta norma está dividida em três partes, cada uma com um foco específico. A Parte 1 da norma (“Especificação com orientações ao nível da organização para quantificação e relato de emissões e remoções de gases de efeito estufa”) aborda a quantificação e relato das emissões e remoções de GEE da organização, utilizando uma abordagem ascendente para a recolha de dados, consolidação e quantificação das emissões. A Parte 2 – “Especificação com orientações a nível de projeto para a quantificação, monitorização e comunicação de informações sobre reduções de emissões de gases com efeito de estufa ou melhoramentos de remoção” – apresenta diretrizes detalhadas sobre os princípios e requisitos para estabelecer linhas base, além de monitorizar, quantificar e relatar as emissões dos projetos. Centra-se em projetos de GEE e em atividades projetadas para reduzir as emissões ou melhorar a remoção de GEE. Serve como base para a verificação e validação de projetos de GEE. A Parte 3, titulada de “Especificação com orientações para a verificação e validação das declarações de gases com efeito de estufa”, estabelece requisitos de validação das declarações de GEE relacionadas com os inventários e projetos de GEE bem como a pegada de carbono de produto, independentemente de terem sido desenvolvidos sob a Parte 1 (International Organization for Standardization, 2019; Wintergreen & Delaney, 2007). A ISO 14067 é uma norma que fornece diretrizes para a quantificação e comunicação da pegada de carbono de produtos e serviços, baseada nas emissões e remoção de GEE durante o ciclo de vida do produto ou serviço (International Standardization Organization, 2018).

Estas normas permitem às organizações entender e comunicar o seu impacto global e contribuem para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis no cumprimento das metas ambientais à escala global.

Capítulo 3 – Metodologia

3.1. Método de Investigação e recolha de dados

Para uma melhor perceção da metodologia utilizada é apresentado, na Figura 5, um diagrama da abordagem à investigação. Este diagrama ilustra as várias etapas do estudo, desde a identificação da temática central, a pegada de carbono, até à discussão dos resultados obtidos.

Esta abordagem inicia com a definição da temática e da problemática em causa, que se concentra na pegada de carbono e na sua capacidade de influenciar as alterações climáticas e os seus impactos. Posteriormente, é formulada a questão de investigação que irá orientar todo o estudo.

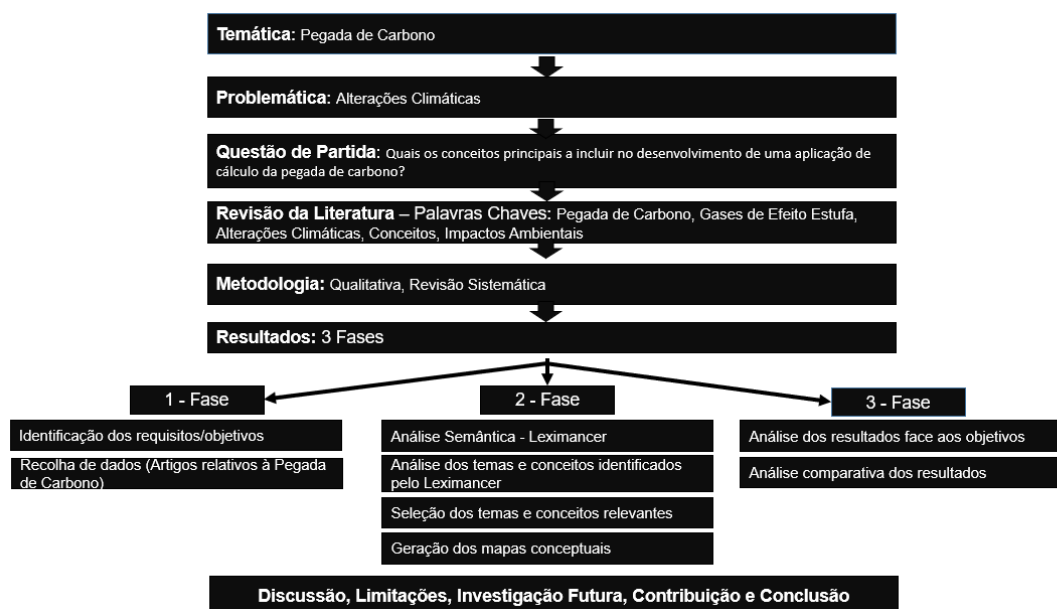


Figura 5 - Diagrama de abordagem à investigação

Neste estudo foi definido uma metodologia qualitativa baseada em oito passos principais, realizando uma revisão sistemática de artigos, de forma a alcançar um mapa conceptual sobre a Pegada de Carbono. Esses oito passos consistem em:

1. Definição da questão de investigação;
2. Realização de uma pesquisa no Google Scholar e plataformas similares, de artigos científicos relevantes publicados entre os anos 2019 e 2024, que contenham Pegada de Carbono (conceito-chave);

3. Seleção e realização do download dos cinquenta artigos mais relevantes;
4. Seleção dos *abstracts* dos cinquenta artigos e respetiva inserção numa folha Excel;
5. Realização do upload da folha Excel;
6. Análise textual e semântica utilizando o Leximancer, considerando os *abstracts* dos artigos, de forma a verificar os temas e conceitos mais abordados;
7. Seleção dos temas e conceitos mais relevantes;
8. Geração de um mapa conceptual, utilizando o Leximancer como ferramenta.

Com a questão de investigação definida, para iniciar a revisão sistemática dos artigos, foi necessário estabelecer um filtro de pesquisa. Assim sendo, apenas artigos que contivessem “Pegada de Carbono” no título, no resumo (*abstracts*) ou nas palavras-chave (*keywords*) foram considerados para análise. Este critério foi determinante para que fosse assegurada a relevância e especificidade dos artigos escolhidos em relação ao tema em estudo.

Para esta pesquisa, foram optados, principalmente, os motores de busca Google Scholar e Scopus devido à sua vasta abrangência de artigos científicos, o que permitiu uma maior diversidade na seleção de documentos. A escolha destes motores de busca também levou em consideração a sua reputação no meio académico e a capacidade de fornecer uma ampla quantidade de artigos científicos.

Optou-se por definir o espaço temporal entre 2019 e 2024. Esta escolha foi motivada pela necessidade de abranger um período de publicações recentes, de forma a garantir a relevância e atualidade do tema e ao mesmo tempo evitar apenas a seleção de artigos pós-covid, o que poderia enviesar a pesquisa.

Após a seleção dos artigos relevantes, foram extraídos os *abstracts* de cada um dos cinquenta artigos e organizados numa folha Excel e realizado, por sua vez, o *upload* para o Leximancer.

3.2. Método de análise de dados

Após a definição do método de investigação e recolha de dados, foi necessário definir o método de análise destes dados. Nesse contexto, optou-se por utilizar o software

Leximancer, uma ferramenta de análise de texto, que possibilita a análise semântica do conteúdo de documentos por meio de mapas conceituais (Leximancer, 2021).

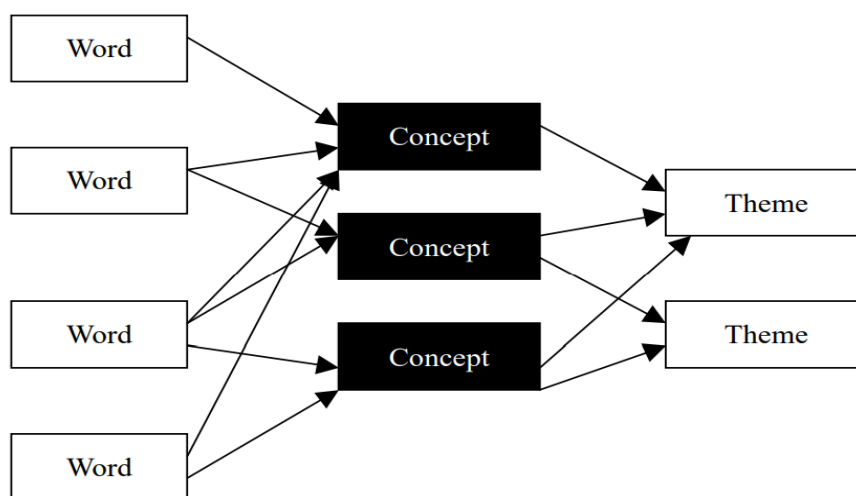


Figura 6- Modelo simplificado do processamento de texto em conceitos e temas.

Fonte: (Crofts & Bisman, 2010)

A escolha foi fundamentada pela reputação do Leximancer como uma ferramenta eficaz de text-mining, amplamente utilizada em diversos estudos de diferentes áreas pela sua capacidade de análise de um grande volume de dados, traduzindo-os em conceitos através da frequência e relação entre palavras, como demonstra a Figura 6 (Crofts & Bisman, 2010; Rodrigues et al., 2019). Através da lista de conceitos, o software gera automaticamente mapas conceituais que ilustram o nível das relações das palavras-chave no conteúdo em análise (Crofts & Bisman, 2010; Hyndman & Pill, 2018).

3.3. Procedimento

Como referido no ponto 3.1. Método de Investigação e recolha de dados, foi utilizado o Leximancer para realizar uma análise textual e semântica de cinquenta artigos focados na pegada de carbono, com o objetivo de analisar e demonstrar como os conceitos são apresentados e discutidos nas pesquisas sobre a pegada de carbono.

As palavras mais frequentes e relevantes foram identificadas através do Leximancer pela sua importância e criado uma lista com os principais conceitos. Apesar dos principais processos de semântica e analíticos terem sido realizados pelo *software*, foi necessária uma definição manual mais detalhada sobre a lista de palavras/conceitos-chave. Entre outros, há o exemplo de três palavras como “usar”, “usado” e “usando”, que foram

considerados três conceitos importantes, somente porque apareciam repetidamente nos artigos. Neste sentido, todas as palavras/conceitos identificados inicialmente foram atentamente analisados de forma a existir uma melhor compreensão. Para isso, foi realizada uma intervenção manual, onde em alguns casos foram removidas palavras como “usar”, “chave”, “total”, entre outras. Foram reduzidas para apenas uma palavra, termos que tivessem versões em singular e plural (por exemplo, impacto e impactos, foram reduzidos para impactos) e ainda palavras como “consumidores” e “consumo” foram reduzidos para “consumidores”. Deu-se ainda uma redução significativa de palavras relacionadas com a emissão de GEE para “GEE”, como é possível observar na Figura 7, pois considerou-se que ajudaria na simplificação da análise, onde o termo GEE capta a essência dos outros termos, no contexto de estudos ambientais. Com esta redução das palavras, foi possível obter uma nova lista atualizada, capacitada para gerar um mapa conceptual relevante e claro.

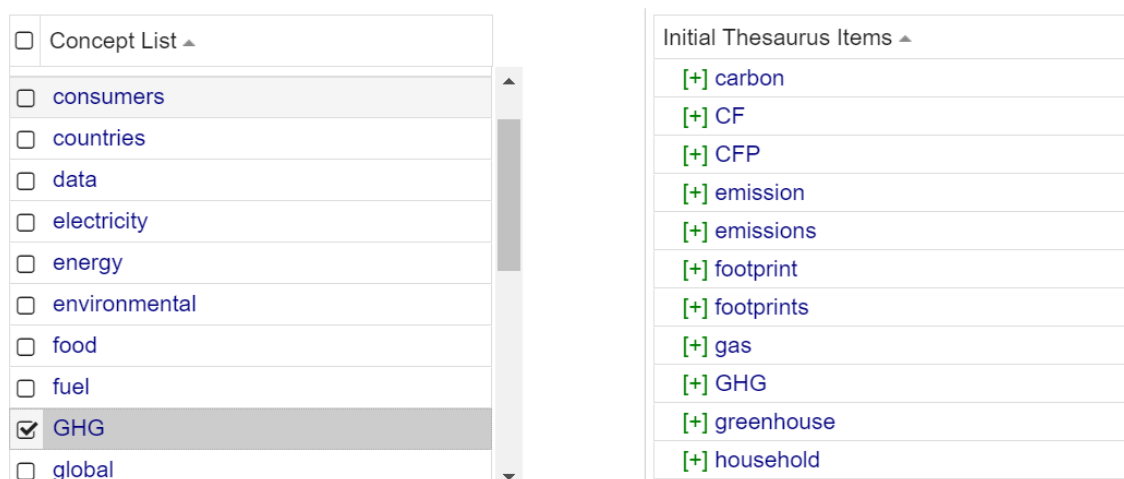


Figura 7 - Exemplo de redução de palavras relacionadas com GEE. Fonte Leximancer

Deste modo, utilizando o software Leximancer, foi possível analisar o conteúdo dos artigos e apresentar resultados da análise em formato visual (mapas conceptuais), ao identificar palavras importantes no texto inserido, através da frequência destas, e a partir daí extrair os conceitos (Hyndman & Pill, 2018). Contudo, não basta a análise realizada pelo Leximancer, cabe ao investigador ter conhecimento sobre o tema, de forma a conseguir observar e interpretar o mapa conceptual, garantindo a qualidade dos resultados e verificar se estes correspondem ao esperado (Hyndman & Pill, 2018; Smith & Humphreys, 2006).

De acordo com o manual de instruções do Leximancer (2021), o mapa conceitual gerado é do tipo *heatmap*, ou seja, os valores dos dados são representados por cores, onde as cores quentes, como o vermelho, representam temas mais relevantes, enquanto os menos relevantes são representados pelas cores frias, como o roxo. Deste modo, é possível observar, no gráfico da Figura 9, o número de ocorrências de cada um dos seis principais temas identificados pelo Leximancer na análise dos artigos: carbono (243 ocorrências), global (127 ocorrências), impactos (46 ocorrências), países (20 ocorrências), vida (20 ocorrências), dados (15 ocorrências).

Em relação à interseção de temas, é visível, na Figura 8, a sobreposição do tema “Carbono” com “Global” e “Vida”, já estes temas, “Global” e “Vida”, interseccionam-se com o tema “Impactos”. Por outro lado, tanto o tema “Países” como o “Dados” não têm sobreposição com nenhum dos outros temas. Cada um destes temas abrange muitos conceitos identificados nos artigos selecionados. Dando o exemplo do “Carbono”, o tema com maior significância da análise, este está relacionado com diferentes conceitos, como “carbono”, “resíduos”, “impactos”, “produção” e “energia”. Desta forma, estes temas não são representativos exclusivamente dos tópicos dos artigos selecionados, mas sim como os conceitos são agrupados dentro desses artigos.

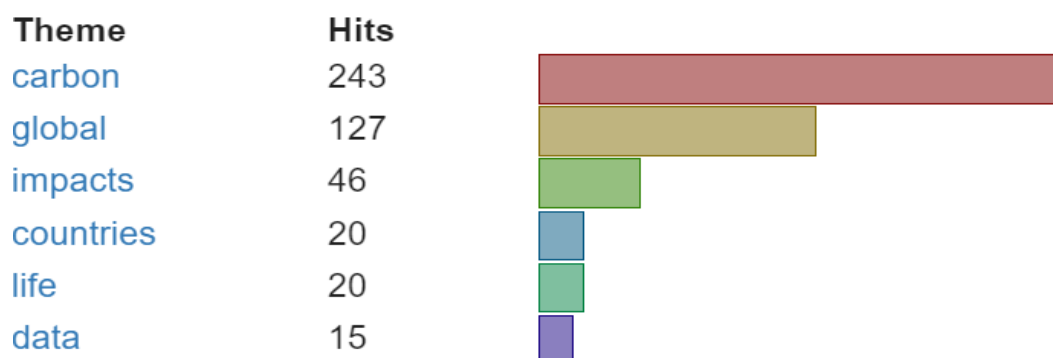


Figura 9 - Gráfico dos principais temas e respetiva ocorrência. Fonte: Leximancer

Como já referido, o Leximancer produziu 25 conceitos de Pegada de Carbono, que foram agrupados em seis grandes temas. No que diz respeito aos conceitos identificados, é possível observar, na Tabela 4, a sua frequência e relevância, com base nos dados extraídos do Leximancer. O conceito “carbono” é o mais proeminente, com 243 ocorrências e uma relevância nos artigos analisados de 100%. De seguida surge o conceito “consumo” com 57 ocorrências e uma relevância de 23% e o conceito “global” com 47

ocorrências e uma relevância de 19%. Como é possível observar na Tabela 4, todos os restantes conceitos apresentam uma relevância inferior a 15%.

Tabela 4 - Conceitos da Pegada de Carbono. Fonte: Leximancer

Conceito	Frequência	Relevância
Carbono	243	100
Consumo	57	23
Global	47	19
Impactos	33	14
Energia	31	13
Clima	28	12
Ambiental	28	12
Produção	26	11
Sustentável	22	9
Setor	21	9
Fornecimento	20	8
Vida	20	8
Eletricidade	20	8
Países	20	8
Alimentos	19	8
Redução	16	7
Potencial	16	7
Dados	15	6
Resíduos	14	6
Gestão	13	5
Cuidado	13	5
Reciclagem	12	5
Fabricação	12	5
Combustível	12	5
Práticas	10	4

De modo a ser possível uma melhor compreensão, é mostrado na Tabela 5 uma compilação dos temas e conceitos subjacentes, bem como de citações relevantes retiradas dos artigos, recorrendo à ferramenta Leximancer.

Tabela 5 - Citações dos principais temas e conceitos subjacentes

Tema	Conceitos	hit nº.	citações de artigos (extraídas automaticamente pelo Leximancer)
Carbono (243 hits)	carbono, energia, fornecimento, setor	1	Os resultados mostram que os EUA são os maiores contribuidores para a pegada de carbono total (CFP) e a pegada energética total (EFP), com 81,73% e 84%, respetivamente. Além disso, os setores da agricultura/caça silvicultura/pesca e eletricidade/gás/fornecimento de água dominam a pegada de carbono geral dos EUA, contribuindo com 22% e 21,28%, respetivamente.
		2	O setor de refinação de petróleo/combustível nuclear tem a maior parte da pegada energética total, com 47,9% dos impactos totais.
		3	A literatura existente no campo da pegada de carbono (CFP) e sustentabilidade tem sido escrita sobre casos reais da indústria. Alimentos, eletricidade e energia são algumas das indústrias significativas onde a sustentabilidade da cadeia de abastecimento reduz com sucesso as emissões de carbono.
		4	Uma análise estatística mostra que a intensidade de carbono do sistema de energia doméstica, a intensidade energética da economia doméstica e os gastos com cuidados de saúde juntos explicam metade da variância na pegada de carbono per capita da saúde.
		5	Resultados no contexto da literatura existente sobre os potenciais e desafios de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) nos setores da saúde e energia. O desenvolvimento global tem dependido fortemente da sobre-exploração dos recursos naturais desde a Revolução Industrial. Com o uso extensivo de combustíveis fósseis, desflorestação e outras formas de alteração do uso da terra, as atividades antropogénicas têm contribuído para o aumento contínuo das concentrações de gases com efeito de estufa na atmosfera, causando mudanças climáticas globais.
Global (127 hits)	global, consumo, clima, produção, sustentabilidade, alimentos	1	A criação de gado leiteiro resulta em emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que pode contribuir para o aquecimento global e, conseqüentemente, para as mudanças climáticas.
		2	Tecnologias inovadoras que oferecem soluções para alcançar a neutralidade carbónica e o desenvolvimento sustentável, incluindo aquelas para produção de energia renovável, transformação do sistema alimentar, valorização de resíduos, conservação de sumidouros de carbono e fabricação com impacto negativo de carbono (C-negativo). A riqueza de conhecimento divulgado nesta revisão poderia inspirar a comunidade global e impulsionar o desenvolvimento adicional de tecnologias inovadoras para mitigar as mudanças climáticas e apoiar sustentavelmente as atividades humanas.

		3	Este artigo é o primeiro a resumir a literatura existente sobre o comportamento dos consumidores em relação aos alimentos rotulados com a pegada de carbono, fornecendo uma discussão sobre as implicações para os fabricantes de alimentos e decisores políticos, bem como possíveis direções para investigações futuras. A agricultura afeta as mudanças climáticas e contribui direta e indiretamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE). No entanto, não há relatos que tenham quantificado completamente as emissões de GEE de diferentes sistemas de cultivo na China.
		4	O artigo conseguiu fornecer novas perspectivas sobre a fuga de carbono na BRI, contrastando as perspectivas baseadas em diferenças de consumo, produção e tecnológicas, sendo assim capaz de informar melhor os decisores políticos sobre a transição específica da região para baixo carbono e a governança climática global. O forte crescimento na procura de baterias de íons de lítio requer uma compreensão robusta tanto dos custos quanto dos impactos ambientais ao longo da cadeia de valor.
Impactos (46 hits)	impactos, ambiental	1	Os impactos ambientais combinados (normalizando e ponderando 16 categorias de impacto) de 4,0? 10? 12 kWh?
		2	O uso de materiais contribui com 69% dos custos e 93% dos impactos ambientais combinados. Enquanto isso, a procura de energia representa 35% do Potencial de Aquecimento Global (GWP).
		3	Existem limitações conhecidas nesta pesquisa, além das desconhecidas, como o uso de apenas um indicador de impacto ambiental, nomeadamente a pegada de carbono (em vez da pegada ecológica, outros, ou até mesmo nenhum destes).
		4	São realizadas atividades internacionais para melhorar a eficiência da indústria, reduzindo seu impacto negativo no meio ambiente. Para ajudar a determinar a atividade humana prejudicial, as pegadas ambientais de produtos e serviços são calculadas usando o método de LCA (life cycle assessment).
		5	No entanto, poucas pesquisas ainda forneceram avaliações combinadas de custos e impacto ambiental em vários segmentos da cadeia de valor das LIB.
Vida (20 hits)	vida	1	Análise de cluster e life cycle assessment são aplicadas a uma amostra de 911 fazendas.
		2	Neste estudo, foram analisados pela primeira vez os inventários de emissão e sequestro de carbono e a pegada de carbono (CF) de 16 principais sistemas de cultivo na China, de 2001 a 2018, utilizando uma abordagem de análise do ciclo de vida do berço até à entrada da fazenda.
		3	No entanto, é provável que aumentem a atividade de transporte rodoviário e as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida, devido a vários efeitos de ressalto. Neste estudo, investigamos os compromissos entre a melhoria da economia de combustível e os efeitos de ressalto numa perspectiva do ciclo de vida.
		4	Neste contexto, realizamos uma revisão sistemática da pegada de carbono do ciclo de vida das baterias. Especificamente, são resumidas as emissões de carbono das baterias nas fases de produção, uso, utilização secundária e

reciclagem, e os principais fatores influenciadores das emissões de carbono em diferentes estágios são analisados.

Dados (15 hits)	dados	1	A pegada de carbono doméstica mensal multi-escalar de janeiro de 2011 a setembro de 2022, combinando dados de estatísticas e inquéritos governamentais. Construímos um conjunto de dados que inclui 37.692 registros de emissões diretas e 4.852.845 registros de emissões indiretas.
		2	Investigamos as pegadas de carbono das atividades quotidianas na Áustria. Associámos dados do Inquérito Austríaco sobre o Uso do Tempo e do Inquérito Austríaco sobre o Orçamento Familiar ao Eora-MRIO para 2009
		3	A recolha de dados longitudinais para as megacidades constitui um grande desafio, mas deve ser o próximo passo para ultrapassar os problemas de especificação incorreta e de enviesamento que afetam as abordagens transversais.
		4	O âmbito do trabalho concentrou-se nos dados publicados disponíveis para diferentes locais de campus: o campus BITS Pilani (na Índia), o campus AUS em Sharjah (nos EAU) e o campus King
		5	O objetivo deste estudo foi estimar e comparar a pegada de carbono dos fluxos de resíduos hospitalares. Foi estimada uma pegada de carbono baseada em processos de resíduos hospitalares, de acordo com o Greenhouse Gas Accounting Sector Guidance for Pharmaceutical Products and Medical Devices, utilizando dados de atividade baseados em fluxos de resíduos encontrados em três hospitais de uma organização do Serviço Nacional de Saúde do Reino Unido.

4.2. Discussão de resultados

O foco deste estudo recai sobre uma análise textual e de conteúdo de cinquenta artigos sobre a temática da pegada de carbono, publicados entre 2019 e 2024. Recorrendo ao software Leximancer, verificou-se que o “Carbono” (pegada de carbono) surge como o tema mais importante, apresentando a cor vermelha no mapa conceptual (Figura 8), e abrange conceitos como “desperdício”, “impactos”, “fornecimento”, “setor”, “energia”, “produção”, “eletricidade” e “dados”, como é possível observar na Figura 8. Tal como previsto, a pegada de carbono revelou-se como um dos fatores determinantes, sendo um dos principais impulsionadores dos impactos ambientais devido à emissão de GEE, através da produção de energia, desperdício de recursos, bem como da produção em qualquer fase da cadeia de abastecimento. Por estas observações, é necessária uma análise cuidada dos dados existentes e uma procura por novos dados para uma boa avaliação e gestão da pegada de carbono e, por sua vez, mitigação dos impactos ambientais.

O tema “Global” surge como o segundo tema mais frequente com 127 ocorrências, que está diretamente ligado a conceitos como “clima”, “sustentável”, “produção” e

“consumo” e que através deste conceito liga ao tema e conceito “Países”. A presença deste tema indica a globalidade da questão da pegada de carbono, considerando o impacto das atividades humanas e das políticas ambientais. Isto visa a necessidade da mitigação das emissões de carbono através de soluções ambientais e políticas internacionais como referido em (Santos, 2020; UNFCCC, 1997).

Com 46 ocorrências, o tema “Impactos” surge como o terceiro tema mais importante. Este está fortemente associado ao conceito “ambiental”, o que reflete a preocupação da literatura com os efeitos da pegada de carbono sobre o meio ambiente, demonstrando a importância de avaliar e mitigar os impactos ambientais, e bem como defendido por (McNutt, 2013) a necessidade de projetar o futuro sobre a influência dos impactos das alterações climáticas.

O tema “Vida” tem uma menor frequência que os anteriores, com 20 ocorrências, contudo não deixa de ser um tema bastante significativo. Este é um tema que está relacionado com o ciclo de vida de bens e serviços, destacando a importância de uma abordagem de ciclo de vida para levar a uma melhor compreensão da pegada de carbono de diferentes atividades, como referido por Baumann & Tilman e Wright et al (Baumann & Tilman, 2004; Wright et al., 2011).

Com o mesmo número de ocorrências surge o tema “Países”. A presença deste tema sugere que as emissões de carbono variam entre nações, devido a diferentes políticas, práticas industriais e níveis de desenvolvimento. Contudo, a sua ligação ao tema “Global” através do conceito “consumo” sugere que é necessário políticas ambientais a nível mundial para uma redução do consumo por parte dos países que, deste modo, conduza a uma mitigação da pegada de carbono (Santos, 2020; UNFCCC, 1997).

Por fim, apesar de ser o tema com o menor número de ocorrências (15), o tema “Dados” ressalta a importância dos dados e da sua qualidade na pesquisa e na boa gestão da pegada de carbono. A análise desses dados é determinante para entender e comparar as pegadas de carbono em diferentes contextos, e a sua qualidade é crucial para formulação de políticas ambientais eficazes (Paravantis et al., 2021).

Relativamente à sobreposição e interseção de temas, a sobreposição dos temas “Carbono”, “Vida” e “Global” indica que a literatura aborda frequentemente a pegada de carbono num contexto global e ao longo do ciclo de vida do bem ou serviço. Por outro lado, os temas “Países” e “Dados” não se interseitam com nenhum outro tema, o que

sugere que esses estudos ser focados em análises mais específicas sem considerarem impactos mais amplos ou globais.

A Tabela 4 destaca a diversidade de conceitos associados à pegada de carbono, com conceitos como “consumo”, “energia”, “produção”, “sustentável” que aparecem com alguma frequência. Desta forma, é demonstrado que a literatura sobre a pegada de carbono aborda diferentes fatores, desde o consumo individual até à produção por parte das empresas, realçando também as práticas sustentáveis.

As citações extraídas pelo Leximancer, apresentadas na Tabela 5, fornecem alguns exemplos concretos de como os temas são discutidos na literatura, onde citações sobre o impacto dos Estados Unidos da América na pegada de carbono global, a importância da sustentabilidade nas cadeias de abastecimento e o uso de tecnologias inovadoras para alcançar essa sustentabilidade e a neutralidade carbónica ilustram como os temas e conceitos são aplicados em diferentes contextos.

Capítulo 5 – Conclusões e recomendações

5.1. Principais conclusões

A pegada de carbono é um assunto de crescente relevância tanto na pesquisa académica como na prática empresarial, sendo que a sua gestão pode influenciar o futuro do planeta. Cada vez mais, investigadores e empresas têm-se dedicado ao estudo e mitigação dos impactos da pegada de carbono, seja para promover práticas mais sustentáveis ou para ir de encontro a políticas e normas ambientais. Com a seleção de artigos pertinentes para a temática, no Google Scholar e no Scopus, pretendeu-se compreender e apurar diversos fatores da literatura sobre a “pegada de carbono”, através de uma análise textual realizada com o *software* Leximancer para identificar quais os conceitos, temas e ligações relevantes, exibidos em mapas conceptuais.

O objetivo da presente dissertação foi resumir o que autores anteriores investigaram, de forma a perceber quais os temas e conceitos mais relevantes quando o assunto da pegada de carbono é abordado, considerando cinquenta artigos retirados das bases de dados do Google Scholar e Scopus no período de 2019 a 2024, utilizando o *software* Leximancer como ferramenta de análise textual e de conteúdo. Essa análise demonstra o carbono como um assunto importante nas pesquisas realizadas por diversos autores, e que está interligado com outros temas como global, impactos, vida, dados e países.

De forma responder à questão de investigação inicialmente proposta, “Quais os conceitos principais a incluir no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono?”, a elaboração desta dissertação permitiu identificar 25 conceitos-chave, organizados em seis grandes temas: carbono, global, impactos, dados, países e vida. Além disso, foram analisadas as frequências e respetivas interligações entre conceitos, proporcionando uma visão abrangente e detalhada da temática.

Durante a revisão da literatura, foi possível observar que a pegada de carbono é um assunto cada vez mais significativo e com maior relevo em estudos e pesquisas de diversos autores e investigadores. Isto deve-se ao facto de começar a haver uma maior preocupação com o planeta Terra e com o seu futuro, e se não houver uma boa gestão da pegada de carbono através de regulamentos e políticas e consciência pessoal, as alterações climáticas e impactos ambientais serão cada vez mais acentuados e sentidos pelas pessoas ao redor do mundo.

Este estudo apresenta uma visão geral e detalhada dos principais temas e conceitos discutidos na literatura da pegada de carbono. Os resultados destacam a complexidade e a relação dos fatores que contribuem para a pegada de carbono e os seus impactos ambientais. A análise revelou que na gestão da pegada de carbono é importante que as abordagens considerem a dimensão global e os ciclos de vida completos dos produtos e serviços.

Por fim, destaca-se também o papel crucial da ferramenta Leximancer na realização de análise textual e de conteúdo eficazes, que permitiu a identificação dos conceitos-chave e as suas inter-relações através de uma visualização intuitiva dos resultados. Com a identificação de padrões, *insights* e tendências relevantes nos artigos sobre a pegada de carbono, permitiu uma compreensão mais profunda e abrangente do tema e fornecendo uma base sólida para investigações futuras e para desenvolvimento de aplicativos práticos nesta área. Portanto, é possível frisar a utilidade e a importância da ferramenta neste tipo de metodologia e também nesta área de estudo. A sua capacidade de analisar grandes volumes de texto, transformando-os em mapas conceptuais claros e informativos, foi fundamental para alcançar os objetivos desta pesquisa e contribuir para o avanço do conhecimento e da literatura científica da pegada de carbono.

5.2. Contributos para a comunidade científica e empresarial

5.2.1 Contributos para a comunidade científica

Este estudo almeja, a nível científico, contribuir para o conhecimento sobre a pegada de carbono e quais os seus impactos, através do estado da arte, bem como contribuir com um modelo conceptual explicativo dos elementos mais significativos da Pegada de Carbono (resultado da análise qualitativa com o Leximancer). Através deste mapa conceptual, é possível perceber quais os principais temas e conceitos quando se aborda a temática da pegada de carbono. Espera-se também que haja um contributo tecnológico através da identificação das variáveis a incluir no desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono em investigações futuras.

5.2.2 Contribuições para a comunidade empresarial

Do mesmo modo, espera-se contribuir para a comunidade empresarial, oferecendo insights valiosos através da identificação de áreas e conceitos críticos, relacionados com a pegada de carbono. Este estudo identificou temas e conceitos que têm impacto na pegada de carbono e permitem que as empresas possam utilizar essas informações para se focarem em áreas críticas que podem ser alvo de melhoria em eficiência e sustentabilidade, bem como alinharem-se com regulamentações e normas ambientais.

5.3. Limitações do estudo

Considera-se que, embora tenham sido analisados cinquenta artigos, há possibilidade para uma investigação de conceitos da pegada de carbono mais abrangente, recorrendo a um maior número de publicações, pois é provável que muitos artigos importantes foram deixados de fora desta análise. Além disso, a utilização apenas do *abstract* pode também limitar a abrangência da análise, uma vez que informações cruciais podem estar contidas nas conclusões, nas palavras-chave e nas propostas de investigação futuras. A inclusão desses elementos poderia enriquecer e conduzir a uma análise mais robusta desta temática.

No entanto, é importante ter em conta os desafios referentes à recolha de dados, mesmo utilizando as bases de dados Google Scholar e Scopus. Embora sejam amplamente utilizadas para fins académicos, essas bases de dados podem não disponibilizar a literatura completa sobre um assunto. Assim, a recolha de dados torna-se um grande desafio, pois os problemas de especificação e enviesamento da investigação podem afetar a abordagem (Paravantis et al., 2021).

5.4. Proposta de investigação futura

Para futuros trabalhos apresentam-se as seguintes propostas:

- Desenvolvimento de uma aplicação de cálculo da pegada de carbono com base no modelo conceptual apresentado;
- Investigar a pegada de carbono de setores de atividade ou organizações específicas, identificando e implementando estratégias de redução da pegada de carbono;

- Realizar um estudo qualitativo de revisão sistemática, mas separando os artigos pelos três diferentes escopos de emissões.

Referências Bibliográficas

- Abbood, K., Egilmez, G., & Meszaros, F. (2023). Multi-region Input-Output-based Carbon and Energy Footprint Analysis of U.S. Manufacturing. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 31(2), 91–99. <https://doi.org/10.3311/PPso.19554>
- Abbood, K., & Meszaros, F. (2023). Carbon Footprint Analysis of the Freight Transport Sector Using a Multi-Region Input–Output Model (MRIO) from 2000 to 2014: Evidence from Industrial Countries. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107787>
- Abdelbasier, A. M., Moataz,) ;, Kamel, M., Noha,) ;, Donia, S., & Nawar, H. A. (2022). Carbon Footprint monitoring and mitigation in higher education: A meta-analyses review. *Journal of Environmental Sciences (JES)*, 51.
- Alimonti, G., Mariani, L., Prodi, F., & Ricci, R. A. (2022). A critical assessment of extreme events trends in times of global warming. *European Physical Journal Plus*, 137(1). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02243-9>
- Amaral, S. S., Costa, M. A. M., Soares Neto, T. G., Costa, M. P., Dias, F. F., Anselmo, E., Santos, J. C. dos, & Carvalho, J. A. de. (2019). CO₂, CO, hydrocarbon gases and PM_{2.5} emissions on dry season by deforestation fires in the Brazilian Amazonia. *Environmental Pollution*, 249, 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.023>
- Angus, D., Rintel, S., & Wiles, J. (2013). Making sense of big text: A visual-first approach for analysing text data using Leximancer and Discursis. *International Journal of Social Research Methodology*, 16(3), 261–267. <https://doi.org/10.1080/13645579.2013.774186>
- Árnadóttir, Á., Abdirova, T., Olson, S., Heinonen, J., & Czepkiewicz, M. (2024). Does higher climate concern lead to a smaller carbon footprint? A study among the Nordic country residents. *Resources, Conservation and Recycling*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107543>
- Asopa, P., Purohit, P., Nadikattu, R. R., & Whig, P. (2021). Reducing carbon footprint for sustainable development of smart cities using IoT. *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, ICICV 2021*, 361–367. <https://doi.org/10.1109/ICICV50876.2021.9388466>
- Baillie, J., Hilton-Taylor, C., & Stuart, S. N. (2004). *2004 IUCN red list of threatened species: a global species assessment*.
- Baillie, J., Risk, D., Atherton, E., O’connell, E., Fougère, C., Bourlon, E., & Mackay, K. (2019). Methane emissions from conventional and unconventional oil and gas production sites in southeastern saskatchewan, canada. *Environmental Research Communications*, 1(1). <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab01f2>
- Baumann, H., & Tilman, A. M. (2004). *The hitch hiker’s guide to LCA*.

- Böhringer, C. (2003). THE KYOTO PROTOCOL: A REVIEW AND PERSPECTIVES. In *OXFORD REVIEW OF ECONOMIC POLICY* (Vol. 19, Issue 3). <http://oxrep.oxfordjournals.org/>
- Carbonfootprint*. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://www.carbonfootprint.com/>
- CarbonTrust*. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://www.carbontrust.com/>
- Chen, J., Fan, W., Li, D., Liu, X., & Song, M. (2020). Driving factors of global carbon footprint pressure: Based on vegetation carbon sequestration. *Applied Energy*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114914>
- Chen, X., Ma, C., Zhou, H., Liu, Y., Huang, X., Wang, M., Cai, Y., Su, D., Muneer, M. A., Guo, M., Chen, X., Zhou, Y., Hou, Y., Cong, W., Guo, J., Ma, W., Zhang, W., Cui, Z., Wu, L., ... Zhang, F. (2021). Identifying the main crops and key factors determining the carbon footprint of crop production in China, 2001–2018. *Resources, Conservation and Recycling*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105661>
- Clarke, C., Williams, I. D., & Turner, D. A. (2019). Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.003>
- Córcoles, C., López, L. A., Osorio, P., & Zafrilla, J. (2024). The carbon footprint of the empty Castilla-La Mancha. *Energy Policy*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113892>
- Deng, C., Hu, H., Zhang, T., & Chen, J. (n.d.). *Rock slope stability analysis and charts based on hybrid online sequential extreme learning machine model*. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00458-5/Published>
- Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Outubro de 2003, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade e que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho. (2003). *Jornal Oficial Da União Europeia*, 32.
- Durojaye, O., Laseinde, T., & Oluwafemi, I. (2020). A Descriptive Review of Carbon Footprint. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1026, 960–968. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_144
- EcoAct*. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://eco-act.com/>
- Falkner, R. (2016). The Paris agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*, 92(5), 1107–1125. <https://doi.org/10.1111/1468-2346.12708>
- Finkbeiner, M. (2009). *Carbon Footprinting – Opportunities and Threats*. *International Journal for Life Cycle Assessment*. 91–94.
- Gaetani, M., Uleryk, E., Halgren, C., & Maratta, C. (2024). The carbon footprint of critical care: a systematic review. In *Intensive Care Medicine*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00134-023-07307-1>

- Gan, Y., El-Houjeiri, H. M., Badahdah, A., Lu, Z., Cai, H., Przesmitzki, S., & Wang, M. (2020). Carbon footprint of global natural gas supplies to China. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14606-4>
- Ghosh, A. (2020). Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector: A review. *Energies*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/en13102602>
- Ghosh, P., Jha, A., & Sharma, R. (2020). Managing carbon footprint for a sustainable supply chain: a systematic literature review. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 2(3), 123–141. <https://doi.org/10.1108/mscra-06-2020-0016>
- Gutsch, M., & Leker, J. (2023). Costs, carbon footprint, and environmental impacts of lithium-ion batteries – From cathode active material synthesis to cell manufacturing and recycling. *Applied Energy*, 353. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122132>
- Hertwich, E. G. (2021). Increased carbon footprint of materials production driven by rise in investments. *Nature Geoscience*, 14(3), 151–155. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00690-8>
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6414–6420. <https://doi.org/10.1021/es803496a>
- Houghton, R. A. (2005). Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. In *Tropical Deforestation and Climate Change* (pp. 13–21). Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia.
- How to Help Calculate Your Carbon Footprint*. (n.d.). Retrieved December 1, 2023, from <https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/carbon-footprint-calculator/>
- How to reduce my Carbon Footprint*. (2021). https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/how-reduce-my-carbon-footprint_en
- Hu, X., Pierce, J. T., Taylor, T., & Morrissey, K. (2021). The carbon footprint of general anaesthetics: A case study in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105411>
- Huang, L., Montagna, S., Wu, Y., Chen, Z., Tanaka, K., Yoshida, Y., & Long, Y. (2023). Extension and update of multiscale monthly household carbon footprint in Japan from 2011 to 2022. *Scientific Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02329-2>
- Huang, L., Yoshida, Y., Li, Y., Cheng, N., Xue, J., & Long, Y. (2024). Sustainable lifestyle: Quantification and determining factors analysis of household carbon footprints in Japan. *Energy Policy*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114016>

- Hyndman, B., & Pill, S. (2018). What's in a concept? A Leximancer text mining analysis of physical literacy across the international literature. *European Physical Education Review*, 24(3), 292–313. <https://doi.org/10.1177/1356336X17690312>
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 14064-2:2019 Greenhouse gases—Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring, and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancement*.
- International Standardization Organization. (2018). *ISO 14067. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification and communication*.
- Ivanova, D., & Wood, R. (2020). The unequal distribution of household carbon footprints in Europe and its link to sustainability. *Global Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.12>
- Iwata, H., & Okada, K. (2014). Greenhouse gas emissions and the role of the Kyoto Protocol. *Environmental Economics and Policy Studies*, 16(4), 325–342. <https://doi.org/10.1007/s10018-012-0047-1>
- Jaiswal, B., & Agrawal, M. (2020). Carbon Footprints of Agriculture Sector. In *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes* (pp. 81–99). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7916-1_4
- John, A., & Growcom, E. (2008). *Vegetable Industry Carbon Footprint Scoping Study What is a Carbon Footprint? An overview of definitions and methodologies*.
- Johnson, E. (2008). Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts. *Energy Policy*, 36(4), 1569–1573. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.01.014>
- JouleBug*. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://www.joulebug.com/>
- Karwacka, M., Ciurzyńska, A., Lenart, A., & Janowicz, M. (2020). Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12166463>
- Kumar S, Himanshu SK, & Gupta KK. (2012). Effect of Global Warming on Mankind- A Review. *International Research Journal of Environment Sciences*, 1(4), 56–59. www.isca.in
- Lacoste, A., Luccioni, A., Schmidt, V., & Dandres, T. (2019). *Quantifying the Carbon Emissions of Machine Learning*. <https://mlco2.github.io>.
- Larsen, H. N., & Hertwich, E. G. (2009). The case for consumption-based accounting of greenhouse gas emissions to promote local climate action. *Environmental Science & Policy*, 12(7), 791–798. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.07.010>
- Lenzen, M. (2001). Errors in Conventional and Input-Output—based Life—Cycle Inventories. *Journal of Industrial Ecology*, 4(4), 127–148. <https://doi.org/10.1162/10881980052541981>

- Levasseur, A., Mercier-Blais, S., Prairie, Y. T., Tremblay, A., & Turpin, C. (2021). Improving the accuracy of electricity carbon footprint: Estimation of hydroelectric reservoir greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110433>
- Li, P., Xia, X., & Guo, J. (2022). A review of the life cycle carbon footprint of electric vehicle batteries. *Separation and Purification Technology*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121389>
- Li, Z., Zhou, Y., Zhao, M., Guan, D., & Yang, Z. (2024). The carbon footprint of fast fashion consumption and mitigation strategies-a case study of jeans. *Science of the Total Environment*, 924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171508>
- Liu, K. H., Chang, S. F., Huang, W. H., & Lu, I. C. (2019). The Framework of the Integration of Carbon Footprint and Blockchain: Using Blockchain as a Carbon Emission Management Tool. In *Technologies and Eco-innovation towards Sustainability I: Eco Design of Products and Services* (pp. 15–22). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1181-9_2
- Liu, X., & Wang, K. (2024). The inequality of household carbon footprint in China: A city-level analysis. *Energy Policy*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114098>
- Liu, Y., Xu, H., Wang, Y., Cui, P., Sun, C., Zhu, Z., & Wang, Y. (2023). Life cycle water footprint and carbon footprint analysis of coal gasification to clean fuel dimethyl ether. *Fuel*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129884>
- López, L. A., Cadarso, M. Á., Zafrilla, J., & Arce, G. (2019). The carbon footprint of the U.S. multinationals' foreign affiliates. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09473-7>
- Loyarte-López, E., Barral, M., & Morla, J. C. (2020). Methodology for carbon footprint calculation towards sustainable innovation in intangible assets. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041629>
- Lu, Q., Fang, K., Heijungs, R., Feng, K., Li, J., Wen, Q., Li, Y., & Huang, X. (2020). Imbalance and drivers of carbon emissions embodied in trade along the Belt and Road Initiative. *Applied Energy*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115934>
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Magazzino, C., Mele, M., & Schneider, N. (2021). A machine learning approach on the relationship among solar and wind energy production, coal consumption, GDP, and CO2 emissions. *Renewable Energy*, 167, 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.050>
- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008). The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environmental Science & Technology*, 42(16), 5839–5842. <https://doi.org/10.1021/es703112w>

- Mba, E. H. (2018). Assessment of Environmental Impact of Deforestation in Enugu, Nigeria. *Resources and Environment*, 8(4), 207–215.
<https://doi.org/10.5923/j.re.20180804.03>
- McNutt, M. (2013). Climate change impacts. In *Science* (Vol. 341, Issue 6145, p. 435). American Association for the Advancement of Science.
<https://doi.org/10.1126/science.1243256>
- Mesquita, C., & Carvalho, M. (2023). The carbon footprint of common vegetarian and non-vegetarian meals in Portugal: an estimate, comparison, and analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02161-1>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*. Cambridge university press.
- Mohan, S., Oke, N., & Gokul, D. (2021). Conventional and zero liquid discharge treatment plants for textile wastewater through the lens of carbon footprint analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 12(5), 1392–1403.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2020.100>
- Morfeldt, J., & Johansson, D. J. A. (2022). Impacts of shared mobility on vehicle lifetimes and on the carbon footprint of electric vehicles. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33666-2>
- Mouha, R. A. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 09(02), 77–101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
- Mulvaney, K. (2022, June 24). *What is a carbon footprint—and how to measure yours*. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/what-is-a-carbon-footprint-how-to-measure-yours>
- Nunes, A. V., Peres, C. A., Constantino, P. de A. L., Fischer, E., & Nielsen, M. R. (2021). Wild meat consumption in tropical forests spares a significant carbon footprint from the livestock production sector. *Scientific Reports*, 11(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-98282-4>
- Olaniyi, O. A., Funmilayo, O. A., & Olutimehin, I. O. (2014). REVIEW OF CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECT ON NIGERIA ECOSYSTEM. In *International Journal of Environment and Pollution Research* (Vol. 2, Issue 3).
http://en.wikipedia.org/wiki/global_warming.
- Oliveira, G. M. (2015). *Os desafios da estratégia Pós-KyOtO*. www.ufp.pt
- Onat, N. C., & Kucukvar, M. (2020). Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783>
- Onat, N. C., Mandouri, J., Kucukvar, M., Sen, B., Abbasi, S. A., Alhajyaseen, W., Kutty, A. A., Jabbar, R., Contestabile, M., & Hamouda, A. M. (2023). Rebound effects undermine carbon footprint reduction potential of autonomous electric

- vehicles. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41992-2>
- openLCA. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://www.openlca.org/>
- Ozlu, E., Arriaga, F. J., Bilen, S., Gozukara, G., & Babur, E. (2022). Carbon Footprint Management by Agricultural Practices. *Biology*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/biology11101453>
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1–4), 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
- Parashar, S., Sood, G., & Agrawal, N. (2020). Modelling the enablers of food supply chain for reduction in carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122932>
- Paravantis, J. A., Tasios, P. D., Dourmas, V., Andreakos, G., Velaoras, K., Kontoulis, N., & Mihalakakou, P. (2021). A regression analysis of the carbon footprint of megacities. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su13031379>
- Pegada de Carbono*. (n.d.-a). Wikipedia. Retrieved December 1, 2023, from https://pt.wikipedia.org/wiki/Pegada_de_carbono
- Pegada de Carbono*. (n.d.-b). Retrieved September 2, 2024, from https://www.merieuxnutrisciences.com/pt/alimentos__trashed/sustentabilidade-alimentar/corporate-carbon-footprint/
- Pereira, T. C., Amaro, A., Borges, M., Silva, R., Seabra, T., & Canaveira, P. (2023). *PORTUGUESE NATIONAL INVENTORY REPORT ON GREENHOUSE GASES, 1990-2021*. <http://www.apambiente.pt>
- Pichler, P. P., Jaccard, I. S., Weisz, U., & Weisz, H. (2019). International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters*, 14(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab19e1>
- Rico, A., Martínez-Blanco, J., Montlleó, M., Rodríguez, G., Tavares, N., Arias, A., & Oliver-Solà, J. (2019). Carbon footprint of tourism in Barcelona. *Tourism Management*, 70, 491–504. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.09.012>
- Riddick, S. N., Mauzeral, D. L., Celia, M., Harris, N. R. P., Allen, G., Pitt, J., Staunton-Sykes, J., Forster, G. L., Kang, M., Lowry, D., Nisbet, E. G., & Manning, A. J. (2019). Methane emissions from oil and gas platforms in the North Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(15), 9787–9796. <https://doi.org/10.5194/acp-19-9787-2019>
- Ridoutt, B. G., & Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change*, 20(1), 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.003>

- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado Pablo. (2020). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Rizan, C., Bhutta, M. F., Reed, M., & Lillywhite, R. (2021). The carbon footprint of waste streams in a UK hospital. *Journal of Cleaner Production*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125446>
- Rondoni, A., & Grasso, S. (2021). Consumers behaviour towards carbon footprint labels on food: A review of the literature and discussion of industry implications. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 301). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127031>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 90, Issue 1, pp. 1–10). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
- Saevarsdottir, G., Kvande, H., & Welch, B. J. (2020). Aluminum Production in the Times of Climate Change: The Global Challenge to Reduce the Carbon Footprint and Prevent Carbon Leakage. *JOM*, 72(1), 296–308. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03918-6>
- Salo, M., Mattinen-Yuryev, M. K., & Nissinen, A. (2019). Opportunities and limitations of carbon footprint calculators to steer sustainable household consumption – Analysis of Nordic calculator features. *Journal of Cleaner Production*, 207, 658–666. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.035>
- Santos, F. D. (2020). *Acordo de Paris e a Geoengenharia*.
- Sekoai, P. T., Awosusi, A. A., Yoro, K. O., Singo, M., Oloye, O., Ayeni, A. O., Bodunrin, M., & Daramola, M. O. (2018). Microbial cell immobilization in biohydrogen production: a short overview. In *Critical Reviews in Biotechnology* (Vol. 38, Issue 2, pp. 157–171). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1312274>
- Sekoai, P. T., Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2016). Batch fermentative biohydrogen production process using immobilized anaerobic sludge from organic solid waste. *Environments - MDPI*, 3(4), 1–10. <https://doi.org/10.3390/environments3040038>
- SimaPro. (n.d.). Retrieved June 6, 2024, from <https://simapro.com/>
- Smetschka, B., Wiedenhofer, D., Egger, C., Haselsteiner, E., Moran, D., & Gaube, V. (2019). Time Matters: The Carbon Footprint of Everyday Activities in Austria. *Ecological Economics*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106357>
- Smith, A. E., & Humphreys, M. S. (2006). Evaluation of unsupervised semantic mapping of natural language with Leximancer concept mapping. In *Behavior Research Methods* (Vol. 38, pp. 262–279). <https://doi.org/https://doi.org/10.3758/BF03192778>

- Strutt, J., Wilson, S., Shorney-Darby, H., Shaw, A., & Byers, A. (2008). Assessing the carbon footprint of water production. *Journal / American Water Works Association*, 100(6). <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2008.tb09654.x>
- Topcheva, T. (2023). DIRECT AND INDIRECT CARBON EMISSIONS IN A PRODUCTION FACILITY. In *KNOWLEDGE-International Journal* (Vol. 60).
- Turner, A. J., Frankenberg, C., & Kort, E. A. (2019). Interpreting contemporary trends in atmospheric methane. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 116, Issue 8, pp. 2805–2813). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814297116>
- Uchida, Y., & von Rein, I. (2019). Mitigation of Nitrous Oxide Emissions during Nitrification and Denitrification Processes in Agricultural Soils Using Enhanced Efficiency Fertilizers. In *Soil Contamination and Alternatives for Sustainable Development*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81548>
- UNFCCC. (1997). *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- Vidal, C. L. S. (2018). *Gestão e manutenção de gases fluorados com efeito de estufa – caso de estudo no âmbito de estágio na empresa Climacer, Lda*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Vogel, E., & Beber, C. L. (2022). Carbon footprint and mitigation strategies among heterogeneous dairy farms in Paraná, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131404>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*.
- Wallace-Wells, D. (2019). *The uninhabitable earth: life after warming*.
- Wang, F., Harindintwali, J. D., Yuan, Z., Wang, M., Wang, F., Li, S., Yin, Z., Huang, L., Fu, Y., Li, L., Chang, S. X., Zhang, L., Rinklebe, J., Yuan, Z., Zhu, Q., Xiang, L., Tsang, D. C. W., Xu, L., Jiang, X., ... Chen, J. M. (2021). Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality. In *Innovation* (Vol. 2, Issue 4). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100180>
- Weisser, D. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), 1543–1559. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.01.008>
- What is a product carbon footprint. (n.d.). Retrieved December 1, 2023, from <https://www.carbontrust.com/en-eu/what-we-do/assurance-and-labelling/product-carbon-footprint-label>
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A Definition of “Carbon Footprint.” In *Ecological Economics Research Trends* (pp. 1–11).
- Wintergreen, J., & Delaney, T. (2007). *ISO 14064, International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification*.

- Wood, R., Neuhoff, K., Moran, D., Simas, M., Grubb, M., & Stadler, K. (2020). The structure, drivers and policy implications of the European carbon footprint. *Climate Policy*, 20(sup1), S39–S57. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1639489>
- Wright, L. A., Kemp, S., & Williams, I. (2011). “Carbon footprinting”: Towards a universally accepted definition. In *Carbon Management* (Vol. 2, Issue 1, pp. 61–72). <https://doi.org/10.4155/cmt.10.39>
- Yang, Y., Li, Y., & Guo, Y. (2022). Impact of the differences in carbon footprint driving factors on carbon emission reduction of urban agglomerations given SDGs: A case study of the Guanzhong in China. *Sustainable Cities and Society*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104024>
- Yang, Y., Qu, S., Cai, B., Liang, S., Wang, Z., Wang, J., & Xu, M. (2020). Mapping global carbon footprint in China. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15883-9>
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In *Advances in Carbon Capture: Methods, Technologies and Applications* (pp. 3–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- Yoro, K. O., Isafiade, A. J., & Daramola, M. O. (2018). Sequential synthesis of mass exchanger networks for CO₂ capture. In *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science* (pp. 503–508).
- Yue, T., Liu, H., Long, R., Chen, H., Gan, X., & Liu, J. (2020). Research trends and hotspots related to global carbon footprint based on bibliometric analysis: 2007–2018. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 15, pp. 17671–17691). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08158-9>
- Zhang, Z., Li, J., & Guan, D. (2023). Value chain carbon footprints of Chinese listed companies. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38479-5>
- Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. In *Nature Climate Change* (Vol. 9, Issue 5, pp. 374–378). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>