



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONTEXTO ENERGÉTICO DA MOBILIDADE
INDIVIDUAL URBANA NO BRASIL: ANÁLISE
DO CICLO DE VIDA E AVALIAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL DE CARROS
ELÉTRICOS**

Por,
Lucas dos Santos Sanches

Brasília, 25 de Setembro de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONTEXTO ENERGÉTICO DA MOBILIDADE
INDIVIDUAL URBANA NO BRASIL: ANÁLISE
DO CICLO DE VIDA E AVALIAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL DE CARROS
ELÉTRICOS**

POR,

Lucas dos Santos Sanches

Relatório submetido como requisito para obtenção
do grau de Mestre em Ciências Mecânicas.

Banca Examinadora

Prof. Armando de Azevedo Caldeira-Pires, UnB/
ENM (Orientador)

Prof. Francisco Javier Contreras Pineda, UnB/ ENC

Prof. Edgar Amaral Silveira, UnB/ ENM

Dedico esta dissertação a todas as pessoas que, em algum momento e de alguma forma, colaboraram com a minha jornada até aqui.

À minha família pelas oportunidades que me foram concedidas. Aos meus amigos pelos momentos de construção e evolução pessoal. Aos professores e professoras pela instrução e orientação ao longo dos anos.

Obrigado.

RESUMO

Colocando em perspectiva a transição tecnológica do setor de mobilidade urbana para um contexto de eletrificação dos transportes, e considerando o papel de destaque que impactos ambientais estão assumindo em palcos de discussão globais, esta dissertação visa realizar uma revisão bibliográfica das principais palavras-chave relacionadas ao tema e conduzir uma análise do ciclo de vida do tipo “berço-ao-túmulo” em um modelo de carro elétrico, explorando a demanda de energia primária, o potencial de aquecimento global e o potencial de depleção abiótica, e comparando os resultados obtidos com um modelo de carro a combustão (ambos adaptados para a realidade brasileira). Também serão analisados cenários de variação da matriz energética e de penetração de mercado de carros elétricos para entender as perspectivas de redução de impactos que podem decorrer da utilização de veículos elétricos em larga escala. Os resultados encontrados na revisão indicam uma crescente relevância das pesquisas envolvendo impactos ambientais de carros elétricos, assim como diversos temas relacionados. A análise do ciclo de vida indica uma redução de impactos ambientais de uma forma geral ao longo do ciclo de vida de um carro elétrico frente ao ciclo de vida de um carro a combustão, levando especificamente à uma queda de 11,8% na demanda de energia primária, 41,35% no potencial de aquecimento global, e 27,3% no potencial de depleção abiótica. Porém, as análises dos diferentes cenários apontam que a eletrificação dos transportes é insuficiente para impedir o aumento dos impactos ambientais associados ao setor de transportes, devido, principalmente, ao crescimento da frota veicular.

ABSTRACT

Considering the technological transition of the urban mobility sector to an electric mobility context, and also the featured role that environmental impacts have been playing in global discussion forums, this dissertation's goals are to review literature results for the main keywords related to the subject and elaborate a “cradle-to-gate” Life Cycle Analysis of an electric car model and a combustion engine car model (both adapted to the Brazilian reality), exploring the primary energy demand, the global warming potential and the abiotic depletion potential of both technologies. In addition, scenarios of electricity grid mix variation and market penetration of electric vehicles will also be evaluated to understand the reduction of the impacts that might come up as a consequence of large-scale adoption. The results from the literature review indicate a rising relevance of researches about electric vehicles' environmental impacts, as well as other related subjects, such as renewable sources. The Life Cycle Analysis points to an overall reduction of impacts along the life cycle of an electric car, compared with a combustion car, leading specifically to declines of 11,8% of the primary energy demand, 41,35% of the global warming potential and 27,3% of the abiotic depletion potential. However, the distinct scenarios evaluated suggest that the electrification of urban mobility might not be enough to reduce environmental impacts due to, mainly, the vehicle fleet growth.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS.....	6
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. O Tema em Estudo e Sua Relevância.....	7
1.2. Objetivo.....	11
1.2.1. Objetivos Específicos	11
1.3. Organização.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Análise Bibliométrica.....	13
2.1.1 Análise Quantitativa	13
2.1.2. Análise Qualitativa	16
2.2. Estado-da-Arte	19
2.2.2. Análise do Ciclo de Vida	19
2.2.2.1. <i>Demanda de Energia Primária.....</i>	<i>21</i>
2.2.2.2. <i>Potencial de Aquecimento Global</i>	<i>26</i>
2.2.2.3. <i>Potencial de Depleção Abiótica.....</i>	<i>30</i>
2.2.2. Veículos Elétricos	33
2.2.1.1. <i>Baterias</i>	<i>35</i>
2.2.1.2. <i>Infraestrutura de Carga.....</i>	<i>35</i>
3. METODOLOGIA	37
3.1. Análise do Ciclo de Vida.....	37
3.1.1. Definição dos Sistemas Tecnológicos	37
3.1.2. Unidade Funcional	37
3.1.3. Limites do Sistema.....	38
3.1.4. Inventários.....	38
3.2. Cenários de Análise.....	39
3.2.1. Matriz Energética	39
3.2.2. Penetração de Mercado	40
4. ANÁLISE E RESULTADOS	42
4.1. Análise do Ciclo de Vida.....	42
4.1.1 Produção do Veículo	42
4.1.2 Produção da Bateria	43
4.1.3 Geração de Eletricidade e Produção de Combustível.....	44
4.1.4 Distribuição de Eletricidade e Combustíveis	45
4.1.5 Fase de Uso do Veículo.....	45
4.1.6 Fim de Vida.....	46
4.1.7 Reciclagem da Bateria.....	47
4.2. Discussão de Resultados	48
4.2.1. Produção e Reciclagem da Bateria	48
4.2.2. Carro Elétrico x Carro a Combustão	49
4.2.3. Carro Elétrico 2015 – 2050	52
4.2.4. Desempenho da Frota Veicular Brasileira de 2015 a 2050	53
4.2.5. Resultados da Literatura.....	55
5. CONCLUSÃO	57
5.1. Propostas para Futuros Trabalhos.....	58
6. REFERÊNCIAS	59
7. ANEXOS	76
A – Fluxogramas de Processos.....	76
A.1 - Produção da Bateria Elétrica	76
A.2 – Produção do Carro à Combustão (Parte 1).....	77
A.2 – Produção do Carro à Combustão (Parte 2).....	78
A.3 – Expansão do Sistema - Combustão.....	79
A.4 – Produção do Carro Elétrico.....	80
B – Exemplo de Inventário	81
Fluxos de Entrada “BR: Electricity grid mix ts”	81
Fluxos de Saida “BR: Electricity grid mix ts”	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tesla Model S.	9
Figura 2. Modelos elétricos no mercado nacional.	10
Figura 3. Progressão das palavras-chave "Lyfe Cycle" e "Electric Vehicle"	14
Figura 4. Progressão das palavras-chave "Primary Energy" e "Electric Vehicle"	14
Figura 5. Progressão das palavras-chave "Global Warming Potential" e "Electric Vehicle" ..	15
Figura 6. Evolução das palavras-chave relacionadas ao tema ao longo do tempo.	16
Figura 7. Cluster da palavra-chave "Electric Vehicle"	17
Figura 8. Mapa das palavras-chave, gerado pelo VOSViewer.	18
Figura 9. Etapas de uma ACV	20
Figura 10. Ilustração de processo irreversível.	22
Figura 11. Relação entre exergia e os impactos ambientais associados.	25
Figura 12. Cadeia de impacto da mudança climática	29
Figura 13. Cadeia de impacto da depleção abiótica.	32
Figura 14. (A)BEV (B)HV (C)HEV Plug-in (D)FCEV	34
Figura 15. Cenários de penetração de veículos elétricos.	41
Figura 16. Fluxograma do ciclo de vida dos veículos.	42
Figura 17. Fluxograma de produção da bateria.	44
Figura 18. Comparação entre impactos causados pela produção e reciclagem da bateria no Brasil e na Europa.	49
Figura 19. Resultados da demanda de energia primária.	50
Figura 21. Resultados do potencial de aquecimento global.	50
Figura 22. Resultados o potencial de depleção abiótica.	51
Figura 23. Demanda de energia primária 2015-2050.	52
Figura 24. Potencial de aquecimento global 2015-2050.	52
Figura 25. Potencial de depleção abiótica 2015-2050.	53
Figura 26. Demanda de energia primária da frota veicular.	53
<i>Figura 27. Potencial de aquecimento global da frota veicular.</i>	<i>54</i>
Figura 28. Potencial de depleção abiótica da frota veicular.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de potencial de aquecimento global.	30
Tabela 2. Composição das matrizes energéticas do Brasil, da Bélgica e da Alemanha e projeções da matriz energética brasileira	40
Tabela 3. Projeções da frota veicular brasileira	41
Tabela 4. Fase de produção do carro.	43
Tabela 5. Fase de produção da bateria	43
Tabela 6. Quantidade de energia consumida na fase de uso do carro.	46
Tabela 7. Fim de vida do carro.	46
Tabela 8. Processo de reciclagem das baterias	47
Tabela 9. Produção e reciclagem da bateria na Europa.	48
Tabela 10. Produção e reciclagem da bateria no Brasil.	48

1. INTRODUÇÃO

1.1. O Tema em Estudo e Sua Relevância

A preocupação com os impactos ambientais causados pela sociedade humana é, atualmente, um dos temas mais relevantes no contexto social e político global (Caferra, Colasante and Morone, 2021) e, por isso, passou a ser o foco de diversos fóruns de discussão como a Cúpula do Clima, realizada virtualmente em abril de 2021 (U.S. Department of State, 2021), e a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, a ser realizada em novembro de 2021, na cidade de Glasgow, Reino Unido (U.K. Government, 2021).

Ao longo das últimas décadas, tanto o debate entre instituições governamentais quanto o progresso científico evoluíram consideravelmente (Jabbour and Flachsland, 2017), culminando no Acordo de Paris, assinado por 196 países em 2015 (Paris Agreement, 2015). O Acordo de Paris traça como objetivo principal restringir o aquecimento global a 2 °C em relação aos níveis pré-industriais.

Para mitigar os efeitos do aquecimento global e atingir a meta estabelecida pelo Acordo de Paris, serão necessárias transformações rápidas e eficientes que limitem a emissão de gases de efeito estufa (GEE) nos mais diversos setores (Huang and Zhai, 2021). O setor de transportes é um dos que mais emite gases de efeito estufa (GEE) no mundo, sendo responsável por 25% das emissões globais em 2018 (IEA, 2020).

Além da redução do potencial de aquecimento global, o planejamento e a eficiência no consumo de energia são um assunto de extrema importância para todas as nações do planeta (Cabeza *et al.*, 2018; Guevara, Henriques and Sousa, 2021). A União Europeia, por exemplo, possui metas de eficiência energética expressas pela redução em 26% da demanda de energia primária no ano de 2030, com relação aos níveis de 2005 (Parlamento Europeu, 2018). A preocupação com o consumo de energia ganhou destaque a partir das crises de petróleo do século XX, e a segurança energética passou a fazer arte da agenda dos governos (Bielecki, 2002; Esfahani *et al.*, 2021), que buscaram se tornar menos dependentes da importação de combustíveis fósseis.

A tendência de eletrificação no setor de transportes, somada ao aumento da geração de eletricidade por fontes renováveis, assume um papel fundamental na transição energética, torna essencial a análise do consumo de energia primária associado a novas tecnologias, e

consequentemente, seu impacto em uma determinada economia (Di Felice, Renner and Giampietro, 2021; Hamels *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021). A demanda de energia primária em uma análise do ciclo de vida engloba a energia extraída do ambiente para abastecer todos os processos ao longo da vida útil de um produto, assim como a energia utilizada para a fabricação das componentes do veículo em si (Nordelöf *et al.*, 2014; Marmioli *et al.*, 2018).

Algumas rotas tecnológicas ligadas a fontes de energia renovável se apresentam como alternativas para aumentar a eficiência energética do sistema elétrico como um todo, reduzindo a demanda de energia primária, assim como outros impactos ambientais (Tajudeen, Wossink and Banerjee, 2018). Além dos impactos ambientais, a eficiência energética associada à redução da demanda por energia primária pode impactar positivamente o desenvolvimento econômico de uma sociedade (Lee and Chang, 2007; Huang, Hwang and Yang, 2008; Aydin and Esen, 2018).

Sustentar o crescimento econômico ao executar os esforços necessários para atingir as metas traçadas é um desafio considerável (Heun and Brockway, 2019): o setor de transportes é responsável por (é responsável por) 19,4% da demanda de energia primária, e as emissões do setor aumentaram 108% entre 1970 e 2010 (IPCC, 2014). Espera-se que essas tendências sofram uma reversão com o desenvolvimento de algumas tecnologias promissoras na mitigação de impactos ambientais, como carros elétricos, biocombustíveis e células de combustível (Brey, Carazo and Brey, 2018; Dominković *et al.*, 2018; Pregger *et al.*, 2020; Rietmann, Hügler and Lieven, 2020).

No Brasil, o setor de energia, que engloba o consumo de combustíveis no setor de transportes, é a terceira maior fonte de emissões de GEE, atrás apenas da mudança de uso da terra e da agropecuária (Angelo and Rittl, 2019). Além disso, o setor de transportes é responsável pelo consumo de 80% dos combustíveis fósseis líquidos, assim como por 14% das emissões de GEE (Goes *et al.*, 2020). No ano de 2015, o governo brasileiro apresentou em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (Brazil, 2015) a intenção de reduzir, até 2025, 37% das emissões de GEE em relação ao ano base de 2005. A iNDC (sigla em inglês) é o documento que determina os principais compromissos e contribuições de um país para atingir as metas traçadas no Acordo de Paris, e esforços voltados para o setor de transportes podem contribuir significativamente com a conquista desses objetivos (Ehrenberger *et al.*, 2019; Logan *et al.*, 2020).

Os avanços recentes na comercialização de veículos elétricos, colocados em evidência por montadoras como a Tesla (Figura 1), sugere que a eletrificação pode ser considerada uma das principais alternativas para reduzir emissões (Holden *et al.*, 2020), especialmente quando somada a mudanças ambientalmente benéficas no setor de geração de energia (Ehrenberger *et al.*, 2021). Tendo em vista que há diversas tecnologias promissoras em desenvolvimento, estudos (Granovskii, Dincer and Rosen, 2006; Nordelöf *et al.*, 2014; Bauer *et al.*, 2015) indicam que a substituição parcial da frota atual de veículos a combustão por veículos elétricos, sejam eles movidos a bateria, veículos elétricos híbridos (que possuem um motor elétrico e um motor a combustão) ou veículos elétricos a célula de combustível, pode viabilizar metas ambiciosas de redução de impactos.



Figura 1. Tesla Model S. (https://unsplash.com/photos/Qm_n6aoYzDs)

O desenvolvimento de tecnologias relacionadas à eletrificação da frota veicular apresenta um grande potencial de redução de emissões, assim como do consumo de combustíveis fósseis no setor de transportes (IEA, 2021), e, conseqüentemente, da demanda por energia primária (Wang and DeLuchi, 1992; Muratori *et al.*, 2013; Yazdanie *et al.*, 2014; Orsi *et al.*, 2016), além de garantir uma maior segurança energética (Romejko and Nakano, 2017), elevar a qualidade do ar em ambientes urbanos (Lin *et al.*, 2020) e reduzir a poluição sonora causada por veículos (Campello-Vicente *et al.*, 2017).

A utilização de carros elétricos no Brasil já é uma realidade, conforme ilustrado pela Figura 2, e apresenta grande sinergia com os recursos de energias renováveis (e.g. hidrelétrica, solar, eólica, nuclear e biomassa) que compõem a matriz energética do país e são apontados como alternativas interessantes para mitigar impactos a longo prazo (Gustavsson *et al.*, 1995;

Apergis *et al.*, 2010; Özbuğday and Erbas, 2015; Shahsavari and Akbari, 2018; Nadaleti, dos Santos and Lourenço, 2020; Bilgili *et al.*, 2021). Os valores exemplificados sugerem que o preço médio dos veículos elétricos ainda está num patamar elevado para o mercado consumidor brasileiro, porém a variedade de veículos no mercado é um bom sinal, assim como os valores obtidos pela conversão direta para moedas mais valorizadas.

A combinação destas tecnologias tem grande potencial para reduzir custos ambientais (Calvillo, Sanchez-Miralles and Villar, 2018), e a elevada participação da fonte hídrica na matriz elétrica brasileira, por ser uma fonte renovável e que sofre um baixo impacto da intermitência (quando comparada a outras fontes), possibilita que os carros elétricos tenham um excelente desempenho ambiental (Haley, 2015).

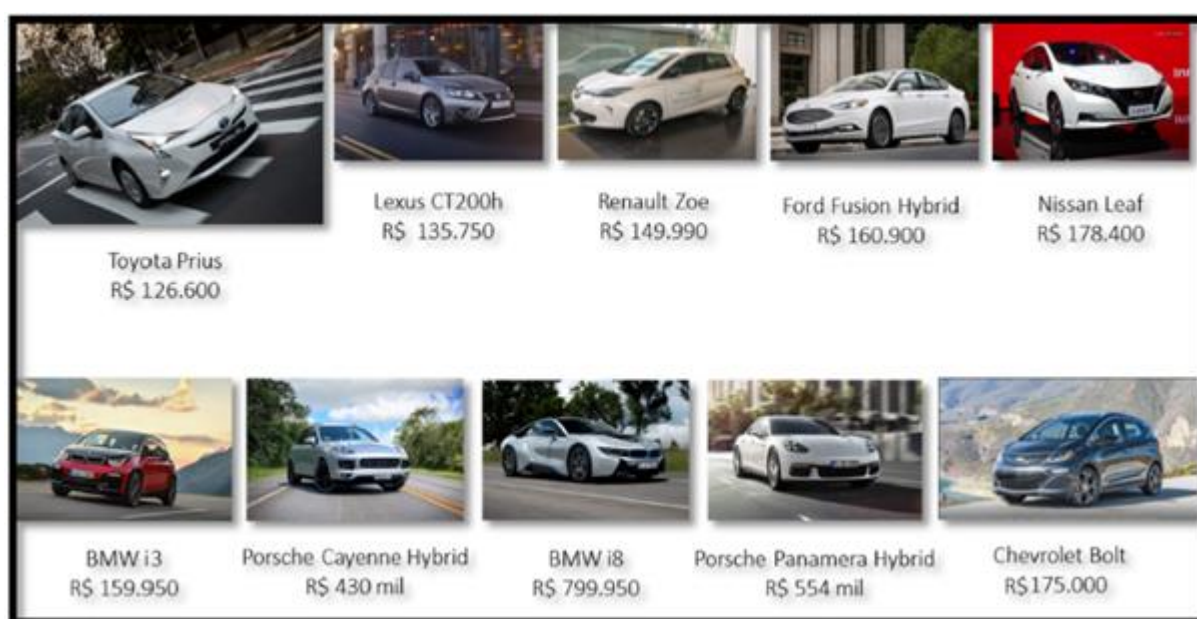


Figura 2. Modelos elétricos no mercado nacional.(Adaptado de EPE,2018)

A grande expectativa pelo desempenho ambiental proporcionado pela eletrificação do setor de transportes torna relevante a avaliação dos impactos associados à adoção de carros elétricos no contexto da mobilidade individual urbana no Brasil. Há uma variedade de categorias de impacto, além da demanda de energia primária e da emissão de GEE, que podem ser determinadas por uma análise ciclo de vida, e compreender tais impactos é o primeiro passo para tomar as decisões mais benéficas para a sociedade, do ponto de vista ambiental.

1.2. Objetivo

O objetivo desta dissertação é analisar a demanda de energia primária, o potencial de aquecimento global e o potencial de depleção abiótica associados à componente energética do setor de mobilidade urbana individual através da análise do ciclo de vida (ACV) de duas cadeias tecnológicas. O sistema de referência é um modelo de carro com motor a combustão interna movido a combustível fóssil ou renovável, e o sistema alternativo é um veículo puramente elétrico que armazena energia por meio de uma bateria. A ACV será realizada seguindo a metodologia e diretrizes estabelecidas no meio científico, e para isso, será feita uma revisão bibliográfica dos impactos analisados. A ACV será aplicada aos sistemas desde a fabricação dos veículos até a sua reciclagem, passando pela sua utilização, e incluindo as fontes de energia de toda a cadeia. A análise dos dois modelos será efetuada com a base de dados da versão estudantil do ano de 2019 do *software* “GaBi” (Sphera).

1.2.1. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliométrica das palavras-chave relacionadas ao tema e avaliar sua relevância;
- Apresentar o estado-da-arte da metodologia de análise do ciclo de vida e seus principais indicadores de impacto ambiental, assim como explorar o conceito de veículos elétricos e algumas de suas tecnologias ;
- Definir cenários de estruturação da matriz energética e penetração de mercado para a análise comparativa dos modelos;
- Conduzir a análise do ciclo de vida de um veículo elétrico e um veículo a combustão;
- Avaliar a demanda por energia primária, o potencial de aquecimento global e o potencial de depleção abiótica dos modelos analisados;
- Apresentar os principais conclusões sobre o impacto ambiental de veículos elétricos no contexto da mobilidade urbana individual no Brasil.

1.3. Organização

Esta dissertação está organizada de forma a, neste primeiro capítulo, introduzir o tema a ser discutido, incluindo uma breve contextualização sobre a sua importância e seu impacto na esfera ambiental, e estabelecer os principais objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo almeja conduzir uma análise bibliométrica das principais palavras-chave relacionadas ao tema, com destaque para os impactos ambientais em evidência neste estudo. Além disso, serão exploradas as circunstâncias científicas e tecnológicas que envolvem a análise do ciclo de vida de carros elétricos.

O terceiro capítulo foca em definir o escopo da análise do ciclo de vida, definir os parâmetros dos sistemas tecnológicos a serem analisados e descrever os cenários de estruturação da matriz elétrica nacional e de penetração dos veículos elétricos no mercado brasileiro a serem utilizados na análise.

O quarto capítulo visa conduzir a análise do ciclo de vida dos dois sistemas tecnológicos (detalhando cada uma das etapas da análise), avaliar os impactos ambientais de cada um dos sistemas e abordar os principais resultados.

O quinto capítulo expõe as principais conclusões decorrentes da elaboração deste trabalho, propondo ideias a respeito do impacto ambiental da aplicação dos veículos elétricos em larga escala na sociedade brasileira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Análise Bibliométrica

2.1.1 Análise Quantitativa

Com o intuito de quantificar a relevância que o tema possui no ambiente científico, a revisão bibliométrica das palavras-chave relacionadas à análise do ciclo de vida dos veículos elétricos permite assimilar o interesse crescente por indicadores de sua viabilidade e aplicabilidade nas próximas décadas. O uso de artigos científicos de diversas revistas serviu como base para a elaboração deste trabalho e, além de artigos, alguns livros, projetos acadêmicos e dados governamentais também foram utilizados.

As revistas e áreas de pesquisa com mais publicações em cada busca foram listadas, e os 1000 artigos mais relevantes de cada busca basearam a análise das palavras-chave e dos autores em maior evidência. As buscas foram conduzidas na base de dados *ScienceDirect* e, a partir das informações obtidas, foram elaboradas linhas do tempo com a progressão das pesquisas em cada tema. Com o auxílio do *software* de análise bibliométrica SciMat, foi possível extrair e agrupar as palavras-chave de maior incidência dentre os artigos analisados, com o número de ocorrências de cada termo indicado entre parênteses.

As primeiras palavras-chave a serem analisadas são “*Life Cycle*” e “*Electric Vehicle*”, e a busca resultou em um total de 7.885 artigos. As revistas com maior ocorrência na busca foram a *Journal of Cleaner Production* (592), a *Applied Energy* (494), a *Journal of Power Sources* (444), a *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (375) e a *Energy* (368). As áreas de maior ocorrência foram *Energy* (4.507), *Engineering* (2.022), *Environmental Sciences* (1.470), *Materials Sciences* (1.453) e *Chemistry* (959). Vale ressaltar que existem terminologias variadas para o conceito de análise do ciclo de vida em inglês, como os termos populares “*Life Cycle Assessment*” e “*Life Cycle Analysis*”, assim como a abreviatura “*LCA*”, além de outras metodologias associadas como “*Life Cycle Impact*” e “*Life Cycle Cost*”.

Como exibido na Figura 3, a distribuição dos documentos relevantes indica que o tema está em uma tendência de alta, com 6 publicações relevantes entre 1992 e 2000, 15 de 2001 a 2010, 151 de 2011 a 2015, 270 de 2016 até 2018 e 558 entre 2019 e 2022. O resultado da análise das palavras-chave indica os termos “*Battery*”(285), “*Emissions*”(152), “*Energy Storage*”(67), “*Infrastructure*”(47) e “*Hydrogen*” (43) com maior destaque, e os autores com maior número

de publicações relevantes são Christoph Herrmann, com 16 publicações, Chris Yuan e Omer Tatari, ambos com 11, e Yelin Deng, com 10.

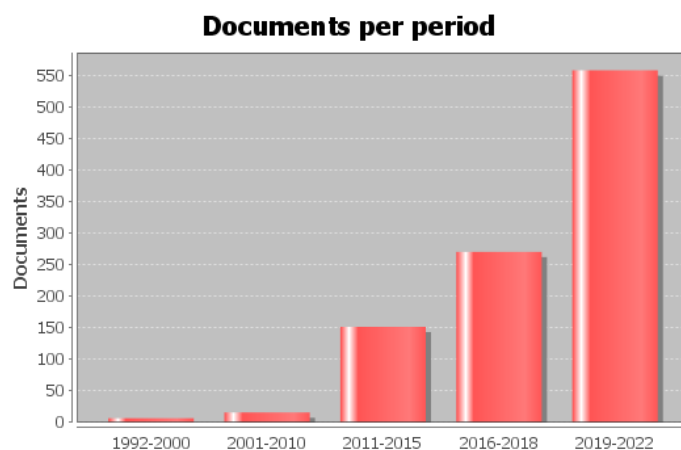


Figura 3. Progressão das palavras-chave "Lyfe Cycle" e "Electric Vehicle"

A segunda análise envolve os termos “*Primary Energy*” e “*Electric Vehicle*”, visando mensurar o crescimento das pesquisas envolvendo a demanda de energia primária relacionada à utilização de veículos elétricos. Uma observação importante a ser feita com relação a essa categoria de impacto é a de que o conceito de “demanda” possui um significado no campo da economia que difere do conceito termodinâmico alvo de interesse deste trabalho, e portanto, foi omitido das buscas.

O resultado da busca apontou 3.647 resultados, sendo as revistas com maior número de publicações a *Energy* (310), a *Energy Policy* (309), a *Applied Energy* (300), a *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (293) e a *Journal of Cleaner Production* (190), e as áreas de pesquisa mais recorrentes *Energy* (2.475), *Engineering* (842), *Environmental Science* (498), *Material Sciences* (415) e *Chemistry* (301).

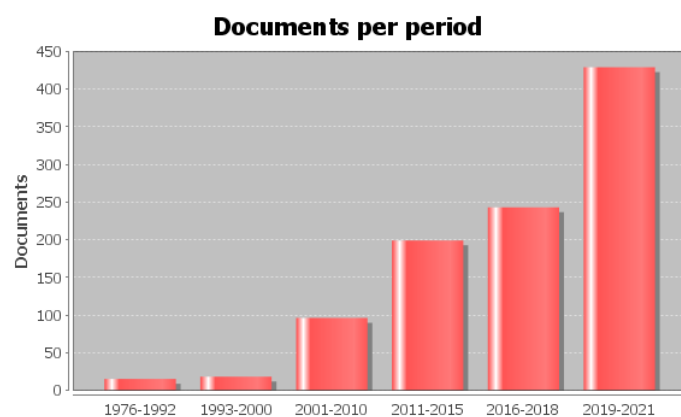


Figura 4. Progressão das palavras-chave "Primary Energy" e "Electric Vehicle".

Com relação aos 1000 documentos mais relevantes, e conforme ilustrado na Figura 4, 15 artigos foram publicados entre 1976 e 1992, 18 entre 1993 e 2000, 96 entre 2001 e 2010, 199 entre 2011 e 2015, 243 entre 2016 e 2018 e 429 entre 2019 e 2021. A análise das palavras-chave mais recorrentes indica os termos “*Renewable Energy*” (93), “*Emissions*” (87), “*Hydrogen*” (87), “*Fuel Cell*” (78) e “*Battery*” (67) em maior destaque. Os autores com mais publicações relevantes são Xunmin Ou e Henrik Lund, ambos com 9 documentos publicados.

Em relação ao potencial de aquecimento global dos veículos elétricos, a análise da busca pelas palavras-chave “*Global Warming Potential*” e “*Electric Vehicle*” resultou em 1.064 documentos, sendo as revistas com maior número de publicações a *Journal of Cleaner Production* (151), a *Applied Energy* (82), a *Fuel and Energy Abstracts* (68), a *International Journal of Hydrogen Energy* (58) e a *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (58), e as áreas de pesquisa mais recorrentes foram *Energy* (677), *Environmental Sciences* (326), *Engineering* (260), *Social Sciences* (128) e *Materials Sciences* (106).

Apenas as palavras-chave dos 935 documentos mais relevantes foram analisadas devido ao formato dos dados extraídos. A distribuição das publicações mais relevantes, conforme Figura 5 se dá por 12 documentos entre 1991 e 2000, 44 entre 2001 e 2010, 170 entre 2011 e 2015, 252 entre 2016 e 2018 e 457 entre 2019 e 2022, conforme Figura 5, e os termos “*LCA*”(277), “*Emissions*”(165), “*Environmental Impact*” (97), “*Hydrogen*” (60) e “*Battery*”(42) aparecem em evidência, sendo os principais autores Ibrahim Dincer, com 16 publicações, Christoph Herrman, com 15, e Catherine Azzaro-Pantel, com 12.

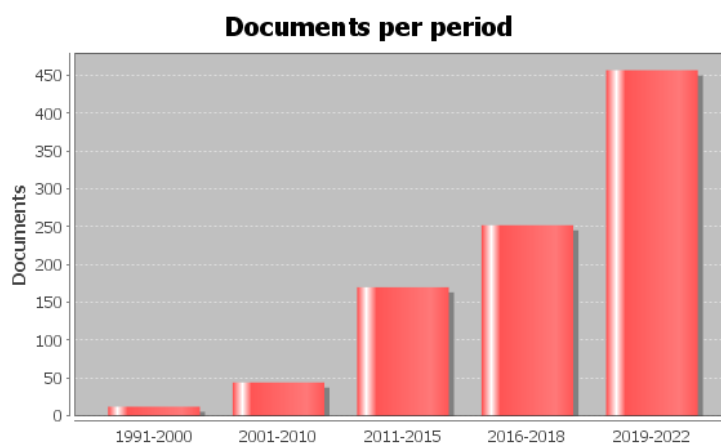


Figura 5. Progressão das palavras-chave “*Global Warming Potential*” e “*Electric Vehicle*”.

Destaca-se da análise a ocorrência das palavras-chave “*Emissions*”, “*Battery*” e “*Hydrogen*” em todas as buscas, apontando a preocupação do meio científico com o impacto

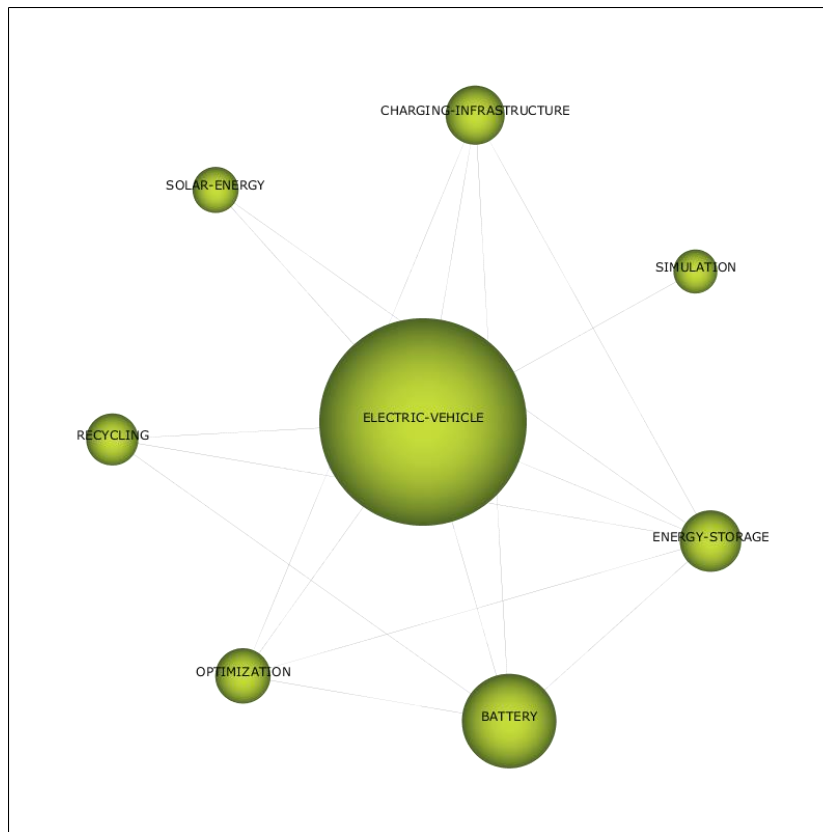


Figura 7. Cluster da palavra-chave "Electric Vehicle".

Dentre as palavras-chave relacionadas aos veículos elétricos, “*Battery*” e “*Charging Infrastructure*” aparecem com o maior destaque, mostrando a importância dessas tecnologias para o desenvolvimento dos veículos elétricos. Interessante notar que “*Energy Storage*” também é uma palavra-chave relacionada às baterias e à infraestrutura de carga, envolvendo outras tecnologias como hidrogênio e supercapacitores. O termo “*Solar Energy*” induz a associação com fontes de energia renovável e a geração de eletricidade para o abastecimento dos carros elétricos, “*Optimization*” e “*Simulation*” se referem ao desenvolvimento da performance dos carros elétricos e “*Recycling*” representa a última etapa do ciclo de vida dos carros elétricos e seu potencial de redução de impactos ambientais.

No *cluster* da palavra-chave “*LCA*”, a ligação mais relevante é com a palavra “*Emissions*”, indicando que as emissões, sejam elas de GEE ou de outros gases poluentes, são o impacto ambiental em maior evidência. As palavras-chave “*Alternative Fuels*” e “*Rare-Earth-Elements*” indicam o interesse pela ACV de tecnologias associadas aos carros elétricos, “*Circular Economy*” demonstra o a importância da ACV de carros elétricos nas linhas de pesquisa rumo à sustentabilidade, assim como “*China*” indica o papel que o país asiático assume na missão de reduzir impactos ambientais decorrente da atividade humana.

2.2. Estado-da-Arte

2.2.2. Análise do Ciclo de Vida

Com o crescente interesse da sociedade na esfera ambiental, estudos que abordam impactos e alternativas para mitigá-los podem ser encontrados em número cada vez mais representativo no meio científico. Dentre estes estudos, a análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia desenvolvida ao longo de décadas e que se tornou uma referência para mapear impactos ambientais oriundos de toda a cadeia de processos que compõe o ciclo de vida de um produto (Guinée, Heijungs and Huppes, 2011).

O escopo de uma análise do ciclo de vida começou a ganhar forma nos anos 70, a partir de uma necessidade industrial que buscava dimensionar o consumo de materiais ao produzir recipientes para o armazenamento de bebidas (Hunt and Franklin, 1996). A partir dos anos 90, a metodologia começou a ganhar relevância (Ayres, 1995) e começou a ser amplamente implementada com as diretrizes apresentadas no “*Code of Practice*” da Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental, em 1993 (SETAC, 1993), e na ISO 14040, em 1997 (International Standard Organisation, 1997). Atualmente, a ISO 14040 (ISO, 2006a) estabelece os princípios e estrutura de uma ACV, e a ISO 14044 (ISO, 2006b) indica os requisitos e as diretrizes de uma análise.

O desenvolvimento da metodologia é um processo em andamento que envolve a padronização dos impactos a serem avaliados, a disponibilidade de bases de dados amplas e precisas, a circunstância geográfica e temporal dos impactos, além de outros aspectos discutidos extensamente na literatura (Reap *et al.*, 2008a, 2008b).

A análise bibliométrica conduzida por Chen (Chen *et al.*, 2014) sugere que estudos de ACV pularam de 98 ao ano em 1998 para 1313 em 2013; e entre as quatro instituições de pesquisa mais produtivas, estão uma da Dinamarca, duas dos Estados Unidos e uma do Japão, evidenciando a disseminação da metodologia ao redor do mundo. Já Gaurav (Gaurav *et al.*, 2021) mostra que as disciplinas com aplicações de ACV vão desde engenharia e ciências ambientais até ciências sociais e ciência da computação, passando por energia, materiais, química, entre outras.

A metodologia de análise do ciclo de vida é dividida em quatro etapas, conforme indicado pela Figura 9: definição de objetivo e escopo (Rebitzer *et al.*, 2004); análise de

inventários (Rebitzer *et al.*, 2004); avaliação de impactos e interpretação dos resultados (Pennington *et al.*, 2004).

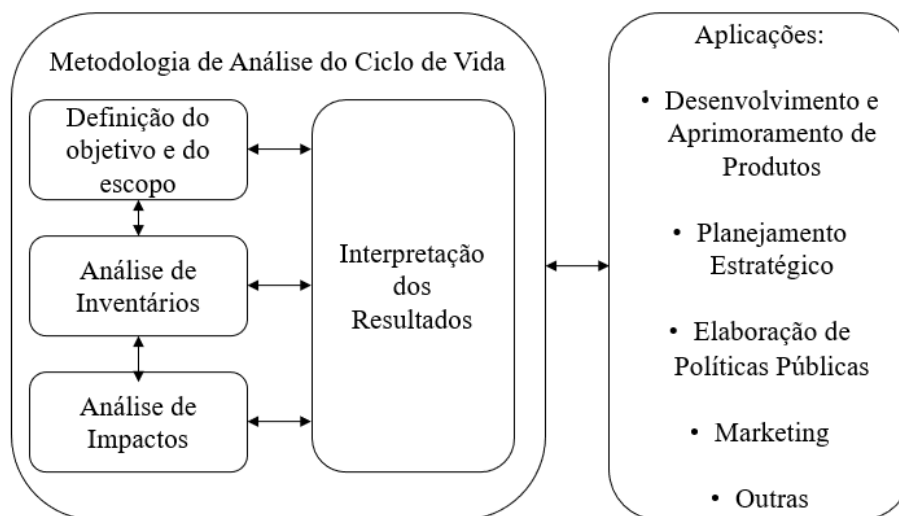


Figura 9. Etapas de uma ACV (Adaptado de Rebitzer *et al.*, 2004)

A definição do objetivo e do escopo da ACV descreve os limites do sistema, composto por processos que representam uma ou mais cadeias de atividades, como produção, transporte ou reciclagem de um produto. Para comparar diferentes sistemas, é necessário definir uma unidade funcional, que permite a variação dos fluxos de entrada e saída do sistema. Caso a variação dos resultados da ACV varie de forma não-linear com a unidade funcional, a ACV é chamada consequencial, pois os resultados são consequência da unidade funcional utilizada na análise (Rebitzer *et al.*, 2004).

A análise de inventários consiste na estimativa de fluxos de entrada e saída de cada processo do sistema, como consumo de recursos, resíduos materiais e emissões. A análise de inventários pode ser feita pontualmente para cada processo, ou pode-se utilizar alguma base de dados disponível. A consistência dos inventários ao longo do sistema é fundamental para garantir resultados precisos na ACV (Rebitzer *et al.*, 2004).

A avaliação de impactos é a etapa que permite a comparação entre os fluxos do sistema e a quantificação total dos impactos ambientais da ACV (Pennington *et al.*, 2004). Esta etapa é dividida em classificação, caracterização, normalização, ponderação e agrupamento. A classificação consiste em designar cada fluxo em uma determinada categoria de impacto (e.g. potencial de aquecimento global) e a caracterização corresponde ao dimensionamento do impacto com relação aos outros fluxos na mesma categoria. A normalização, a ponderação e o

agrupamento são etapas opcionais de uma ACV: a normalização permite a comparação entre diferentes categorias de impacto, a ponderação determina quais são os impactos mais relevantes e o agrupamento posiciona os impactos de acordo com o objetivo da ACV (Pennington *et al.*, 2004).

A interpretação dos resultados é consequência direta da avaliação dos impactos ambientais da ACV pois, originalmente, os impactos de um sistema variam de acordo com as circunstâncias de cada processo, pertencendo a uma de duas cadeias principais: as emissões do sistema para o ambiente, e as extrações do ambiente para o sistema.

A cadeia de impactos derivada das emissões, sejam na atmosfera, solo ou água; segue para a o transporte, distribuição ou transformação dessas emissões; levando à exposição de partes sensíveis como animais, plantas, humanos ou ecossistemas inteiros; gera efeitos temporários ou permanentes como doenças ou alterações de comportamento; e por fim causa danos como a extinção de espécies ou o desequilíbrio de ecossistemas (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

A cadeia de impactos relacionada com extrações, sejam de minerais, combustíveis fósseis, madeira, etc; segue para a transformação das condições locais como permeabilidade do solo, nível de água, liberação de carbono; leva à exposição dos seres vivos daquele ambiente a escassez de recursos ou à competição; gera efeitos como migração de espécies; e por fim causa danos como a redução da biodiversidade (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

Para explorar algumas categorias de impacto ambiental, serão elaboradas as ideias apresentadas em obras da literatura (Pennington *et al.*, 2004; Rocco, 2016; Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

2.2.2.1. Demanda de Energia Primária

A demanda de energia primária é uma categoria de impacto proveniente da aplicação de conceitos termodinâmicos em uma ACV, considerando os recursos naturais que originam a energia primária a ser utilizada ao longo de um sistema. Para que a análise de impacto seja conduzida com eficácia, é necessária a aplicação de métodos que estejam de acordo com princípios científicos básicos como a Primeira e a Segunda Leis da Termodinâmica (Suh, 2009).

A princípio, a demanda de energia primária de fontes não-renováveis poderia ser mensurada pela massa ou volume do recurso energético, por exemplo 1 kg de carvão ou 1 m³

de gás natural. Porém, recursos energéticos possuem propriedades físicas e termodinâmicas distintas que inviabilizam a comparação direta com base nessas unidades. A energia útil resultante de processos de conversão e transmissão varia de uma forma considerável, principalmente quando há, ao longo da cadeia, processos ineficientes como a combustão. Para contornar esse obstáculo, a literatura sugere a comparação entre os recursos baseada nos efeitos termodinâmicos gerados por eles a partir de um processo de depleção de referência, seja o calor ou entropia decorrente de um processo de depleção espontâneo (irreversível), ou o trabalho produzido através de um processo de depleção reversível. As métricas são baseadas no balanço de energia, representado pela Equação 1, e no balanço de entropia, Equação 2. (Rocco, 2016).

$$\frac{dE}{dt} = \sum_j \dot{W}_j + \sum_k \dot{Q}_k + \sum_q \dot{m}_q \left(gz + \frac{v^2}{2} + h \right)_q$$

Equação 1. Balanço de energia.

Onde E se refere à energia do sistema, \dot{W} o trabalho exercido, \dot{Q} o calor trocado com o ambiente, \dot{m} o fluxo de massa, e gz , $\frac{v^2}{2}$ e h as componentes gravitacional, cinética e entálpica da variação de energia.

$$\frac{dS}{dt} = \sum_k \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum_q \dot{m}_q s_q + \dot{S}_{gen}$$

Equação 2. Balanço de entropia.

Onde S se refere à entropia do sistema, \dot{Q} o calor trocado com o ambiente, T a temperatura do ambiente, \dot{m} o fluxo de massa, s_q a entropia específica de cada componente, e \dot{S}_{gen} a entropia gerada internamente pelo sistema.

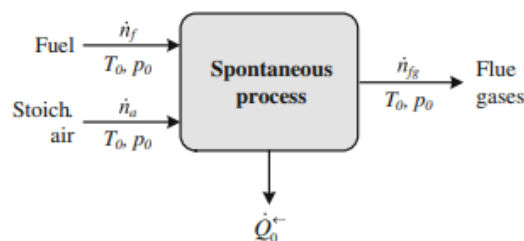


Figura 10. Ilustração de processo irreversível (Adaptado de Rocco, 2016)

O processo irreversível pode ser exemplificado por um sistema em equilíbrio, onde os fluxos de combustível, comburente e exaustão entram ou saem do sistema nas condições de

temperatura e pressão do ambiente, e o sistema troca calor com o ambiente através de uma fronteira ideal, conforme ilustrado na Figura 10.

O processo reversível pode ser simulado por um sistema sob as mesmas condições anteriores, com a geração de entropia sendo nula, e com a produção de trabalho pelo sistema. Nesse caso, o trabalho específico disponível é a exergia do sistema. A exergia permite levar em consideração tanto a quantidade como a qualidade do recurso energético, e por isso foi adotada como base para o ramo da Ecologia Industrial (Seager and Theis, 2002; Hernandez and Cullen, 2019). Além disso, foi descrita como “a melhor e mais madura unidade para quantificar consumo de recursos” pela *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD, 2011). A exergia destruída durante um processo real pode ser derivada do Teorema de Guoy-Studola (Gaudreau, Fraser and Murphy, 2009), e está representada na Equação 3, onde T_o é a temperatura do ambiente de referência e S_{gen} é a entropia gerada durante o processo:

$$Ex_{des} = T_o S_{gen}$$

Equação 3. Exergia destruída durante um processo.

Na prática, a exergia de combustíveis gasosos puros ou misturas pode ser obtida com a aplicação dos modelos de gases ideais ou reais (Kotas, 1985). Porém, a exergia de combustíveis líquidos ou sólidos varia de acordo com a sua composição química, suas ligações químicas e suas propriedades termodinâmicas, havendo propostas envolvendo a correlação da exergia com o poder calorífico ou com a energia livre de Gibbs. Uma fórmula derivada da aplicação de um modelo experimental para a determinação da exergia de um combustível líquido ou sólido pode ser observada na Equação 4 (Song *et al.*, 2012), onde C , H , O , N , S , A representam a massa de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e cinzas, respectivamente.

$$Ex_{ch} = 363,439C + 1075,633H - 86,308O + 4,147N + 190,798S - 21,1A \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Equação 4. Exergia experimental de um combustível (adaptado de Song et al., 2012).

A exergia associada a uma substância ou componente energética é uma medida da sua utilidade (ou qualidade) e, conseqüentemente, uma medida do seu potencial para causar alterações no ambiente. A exergia pode, portanto, ser ou basear uma medida para caracterizar o potencial da substância ou forma de energia de causar impactos ambientais (Moran and Sciubba, 1994; Connelly and Koshland, 1997; Ayres, Ayres and Martínas, 1998; Rosen and Dincer, 1999). Definida como a quantidade máxima de trabalho que pode ser produzida por um

sistema ou fluxo ao entrar em equilíbrio com o ambiente, a exergia é uma consequência do desequilíbrio do sistema com o ambiente. A exergia não está sujeita a uma lei de conservação como a energia, podendo ser consumida ou destruída por irreversibilidades em qualquer processo real. O consumo de exergia ao longo de um processo é proporcional à entropia criada por essas irreversibilidades (Rosen and Bulucea, 2009).

A análise exergética está baseada no princípio da conservação de energia (Primeira Lei da Termodinâmica) e no princípio da não-conservação de entropia (Segunda Lei da Termodinâmica), e busca analisar e melhorar a eficiência dos processos ao quantificar e localizar perdas. Em geral, eficiências exergéticas são mais significativas por representarem uma medida de proximidade com o modelo ideal e, em comparação com análises energéticas, permitem verificar que, embora energia não possa ser criada ou destruída, ela pode ter sua qualidade degradada. A Segunda Lei da Termodinâmica indica como limite superior de eficiência um processo reversível, assim como o quão distante um processo real se encontra dessa referência devido a irreversibilidades. Essas irreversibilidades apontam melhorias como aumento de eficiência, redução de consumo de combustível, redução de emissões e redução de custos, que não necessariamente seriam apontadas por métodos energéticos. A análise exergética é aplicada com base em um ambiente de referência, comumente definido por temperatura, pressão e composição química, a partir do qual será definida como exergia do sistema a energia disponível para que seja realizado trabalho até que se atinja o equilíbrio (Hepbasli, 2008, Rosen and Bulucea, 2008).

Essa ligação entre exergia e ambiente leva a considerações importantes sobre os impactos ambientais associados, sugerindo que a análise exergética pode indicar a destruição de ordem, a degradação de recursos e a emissão de resíduos exergéticos no sistema, conforme ilustrado pela Figura 11. (Tribus and McIrvine, 1971; Rosen and Dincer, 1997).

A destruição de ordem é uma forma de impacto ambiental que associa a exergia de um sistema em ordem como superior à exergia de um sistema caótico, em oposição à característica da entropia de avaliar o grau de desordem do sistema. A diferença de exergia entre os sistemas é, portanto, o trabalho mínimo aplicado ao sistema caótico para que este entre em ordem, sendo o trabalho real sempre superior devido a irreversibilidades, possibilitando reflexões sobre o impacto dessas variações de exergia e ordem no ambiente como um todo (Hafele, Anderer and Nakicenovic, 1981).

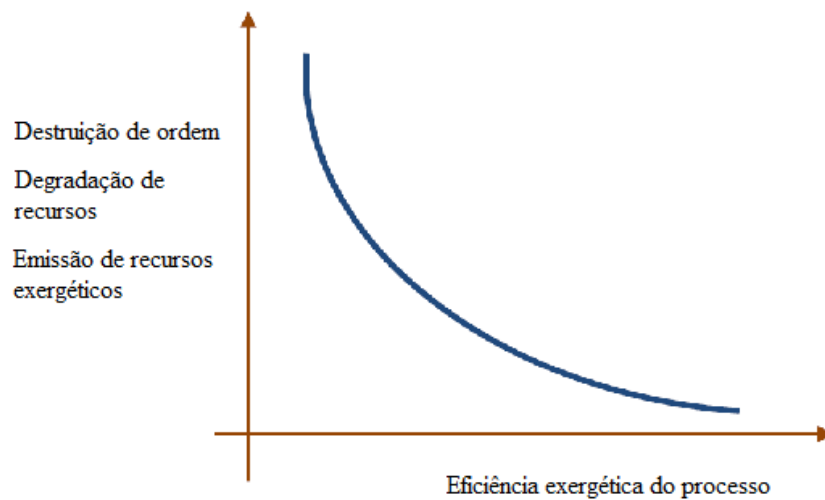


Figura 11. Relação entre exergia e os impactos ambientais associados (adaptado de Dincer, 2021).

A degradação de recursos como impacto ambiental parte do princípio de que um recurso é um material, natural ou artificial, em estado de desequilíbrio com o ambiente, e a sua exergia é consequência desse desequilíbrio (Kestin, 1980). As duas características mais valorizadas nos recursos são sua reatividade, ou potencial de abastecer um processo, e sua composição, havendo processos em que a exergia de um recurso aumenta devido ao consumo de uma quantidade maior de exergia em algum outro processo. Duas abordagens são adotadas para reduzir o impacto ambiental associado à degradação de recursos: o aumento da eficiência exérgica leva à conservação de exergia reduzindo a exergia total necessária para um processo e, conseqüentemente, o impacto ambiental associado ao recurso exérgico; e uso de fontes externas de exergia como a luz solar para substituir o custo exérgico associado aos recursos limitados no planeta (Rosen and Bulucea, 2009).

A emissão de recursos exérgicos como consequência da transição do estado de desequilíbrio com o ambiente para o estado de equilíbrio indica que a exergia associada a essas emissões tem o potencial de causar impacto ao ambiente, representada pela possibilidade de alterar o seu estado de equilíbrio. Em última escala, essas emissões causam impactos prejudiciais ao ambiente, como a morte de peixes e plantas em alguns lagos devido à emissão de substâncias específicas, apesar de que é possível haverem impactos positivos como o aumento do número de peixes e plantas perto das saídas de refrigeração de usinas termelétricas. Além disso, emissões exérgicas podem interferir com o fluxo de entrada de exergia na atmosfera por meio de radiação, essência das alterações ambientais provocadas pelas emissões de GEE (Rosen and Bulucea, 2009). Além de indicar o impacto ambiental, as emissões exérgicas podem representar conceitos econômicos, como o custo para remover um poluente

da atmosfera, e sociais, como o custo da poluição para a sociedade como um todo (Reistad and Arbor, 1970; Rosen and Bulucea, 2009).

O conflito criado pela definição de que a exergia de um recurso possui valor e a exergia das emissões é prejudicial se deve ao fato de que a exergia das emissões está livre para impactar o ambiente de uma maneira caótica, e que, embora possa eventualmente trazer benefícios, tem um determinado potencial para causar danos negativos. A exergia armazenada em algum recurso é de valor pela sua aplicabilidade, pela redução do potencial dano ambiental, assim como pelo armazenamento da exergia em algum recurso com o seu valor atrelado a aspectos econômicos (Rosen and Bulucea, 2009).

O critério adotado pelo GaBi (*software* utilizado nesta dissertação) para calcular a demanda de energia primária é a abordagem de energia cumulativa, havendo uma distinção na forma como as fontes de energia renovável e não-renovável contribuem para a quantificação do impacto. Para fontes de energia não-renovável, é utilizado o poder calorífico da substância. Já para fontes de energia renovável, a eficiência aproximada de fontes de energia eólica, hidrelétrica, geotérmica, nuclear e fotovoltaica são, respectivamente 40%, 80-85%, 15-20%, 30-40% e 10% (Kupfer *et al.*, 2017).

2.2.2.2. Potencial de Aquecimento Global

A escala de emissões de GEE acompanha o desenvolvimento industrial desde o início do século XVIII (Henriques and Borowiecki, 2017) e, atualmente, o aquecimento global é reconhecido como o desafio ambiental mais grave a ser enfrentado pela sociedade no século XXI, havendo estimativas de que a temperatura global possa aumentar entre 4,8 °C e 7,4 °C até 2100 (Friedrich *et al.*, 2016).

As emissões de GEE devido à queima de combustíveis fósseis e processos industriais aumentaram 1,1% ao ano entre 1990 e 1999, e mais do que 3% ao ano entre 2000 e 2004 (Raupach *et al.*, 2007). A tendência de aumento de emissões no século XX, diretamente associada ao consumo de energia, e por vezes à economia de uma sociedade (Bacon and Kojima, 2009), sugere que a sociedade global vem falhando ao permitir que efeitos do crescimento econômico e do aumento da demanda de energia superem os esforços de redução de emissões e mitigação de impactos (Mundaca, Markandya and Nørgaard, 2013; Arto and Dietzenbacher, 2014; Andreoni and Galmarini, 2016).

As emissões de GEE recebem esse nome devido ao fenômeno conhecido como “Efeito Estufa”, um mecanismo natural de regulação das condições climáticas sem o qual a temperatura média na superfície terrestre seria entre -18 °C e 15 °C (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017). Além das variações climáticas naturais, e por vezes pontuais como eras do gelo, atividades antropogênicas têm colaborado com a intensidade desse efeito e gerado um aquecimento global, fenômeno referente à elevação da temperatura da superfície do planeta em uma longa escala de tempo. O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, na sigla em inglês) define mudança climática como “mudança no estado climático que possa ser identificada (com métodos estatísticos, por exemplo) por mudanças na média ou na variação de suas propriedades, e que persista por um período estendido de tempo, tipicamente décadas ou mais”. O IPCC (IPCC, 2014) identificou uma aceleração do aumento da temperatura da superfície terrestre nas últimas 6 décadas, com as maiores taxas nas latitudes setentrionais do Ártico. A temperatura dos oceanos também tem evoluído até uma profundidade de pelo menos 3000 metros, por terem absorvido a maior parte do calor preso na atmosfera. Outros efeitos observados estatisticamente pelo IPCC são (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017):

- Aumento da temperatura atmosférica entre os anos de 1983 e 2012 tornando este o período de 30 anos mais quente nos últimos 1400 anos;
- Elevação da temperatura dos primeiros 75 metros dos oceanos em 0,11 °C por década entre 1971 e 2010;
- Derretimento de geleiras, calotas polares e solo *permafrost* (característico do Ártico);
- Elevação do nível dos mares em 0,19 metros no período de 1901 a 2010, devido à expansão térmica e derretimento de gelo;
- Aumento na frequência e intensidade de desastres naturais baseados no clima, essencialmente devido ao aumento da umidade atmosférica, a alterações na termodinâmica atmosférica e a variações no processo de formação de nuvens;
- Aumento da intensidade de ciclones tropicais no Atlântico Norte desde 1970;
- Fortes precipitações e consequentes inundações (América do Norte e Europa);
- Secas;
- Incêndios florestais;
- Ondas de calor (Europa, Ásia e Austrália);
- Alteração de recursos hidrológicos, afetando sua quantidade e qualidade;
- Danos na agricultura devido à mudança climática são mais comuns do que benefícios;
- Mudança nas amplitudes geográficas, atividades sazonais, padrões de migração, abundância e interação entre espécies terrestres ou aquáticas;
- Mudanças em vetores de doenças infecciosas.

A continuação e a intensificação de efeitos já observados, assim como de efeitos não observados (mas previstos por modelos como potenciais consequências do aquecimento global), tende a variar de acordo com a temperatura da superfície, que é estimada por modelos climáticos e uma variedade de cenários conservadores e otimistas. Espera-se que o aquecimento global continue pelo menos até o próximo século, dada a inércia de processos atmosféricos e oceânicos e do clima global, e visto que o aquecimento global continuaria por várias décadas mesmo que as emissões de GEE fossem interrompidas imediatamente. Alguns efeitos são incertos e altamente debatidos no meio científico, visto que não há um consenso sobre a sua probabilidade de acontecer. De qualquer forma, são possíveis impactos e devem ser vistos como possíveis consequências do aquecimento global, especialmente quando considerados longos períodos de tempo (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017):

- Desaceleração da circulação termoalina de água gelada e salinizada para o fundo do oceano, responsável por processos como distribuição global de calor, transporte de nutrientes oceânicos e renovação de águas profundas;
- Variações de frequência e intensidade do evento “El Niño”, e de sua contraparte “La Niña”;
- Mobilização e liberação do hidrato de metano presente em sedimentos no fundo do oceano e em *permafrost*, o que pode levar à potencialização do aquecimento global. Embora haja grande incerteza sobre as reservas sedimentares, a liberação repentina de hidrato de metano pode ter sido o que levou a um aquecimento global de 6 °C e à extinção de 95% das espécies marítimas há 251 milhões de anos (Benton and Twitchett, 2003);
- Efeitos no fito plâncton que produz boa parte do oxigênio terrestre e absorve também uma boa parte do CO₂ da atmosfera;
- Além de impactos ambientais, efeitos em populações humanas podem ser observados caso estratégias de adaptação falhem, incluindo doenças, fome, desidratação, refugiados ambientais e até mesmo guerras;
- Embora considere-se uma cadeia de impactos como linear em modelos de análise do ciclo de vida, os efeitos usados como exemplo provavelmente possuirão relações não-lineares em relação à variação de temperaturas, além da possibilidade de tais efeitos proporcionarem cadeias de reação entre si, adicionando mais não-linearidade ao sistema, e da possibilidade de ocorrerem variações climáticas irreversíveis (Lenton *et al.*, 2008);
- Retração de florestas (Boreais e tropicais);
- Precipitação intensificada em áreas com sistema de monção.

O mecanismo ambiental deste impacto envolve a radiação solar que entra e sai da atmosfera por reflexão ou radiação, mantendo um equilíbrio estável da temperatura atmosférica.

Parte da radiação solar é refletida de volta para o espaço por moléculas no ar, nuvens e pela superfície da terra (em particular dos oceanos e polos) num efeito chamado albedo, e o resto é absorvido por GEE e pela superfície da terra. No caso desta última, a radiação é devolvida por ondas infravermelhas de longo comprimento devido ao aquecimento da superfície, e parte dessa energia é absorvida pelos GEE e mantida na atmosfera, explicando o porquê das temperaturas atmosféricas aumentarem com a emissão de GEE (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

A cadeia de impactos da mudança climática pode ser observada na Figura 12, incluindo a emissão de GEE, as mudanças na superfície terrestre, alterações na concentração e temperatura atmosféricas, derretimento de gelo, elevação do nível dos mares e ocorrência de eventos climáticos extremos, secas e inundações e, por fim, danos à saúde humana e a ecossistemas.

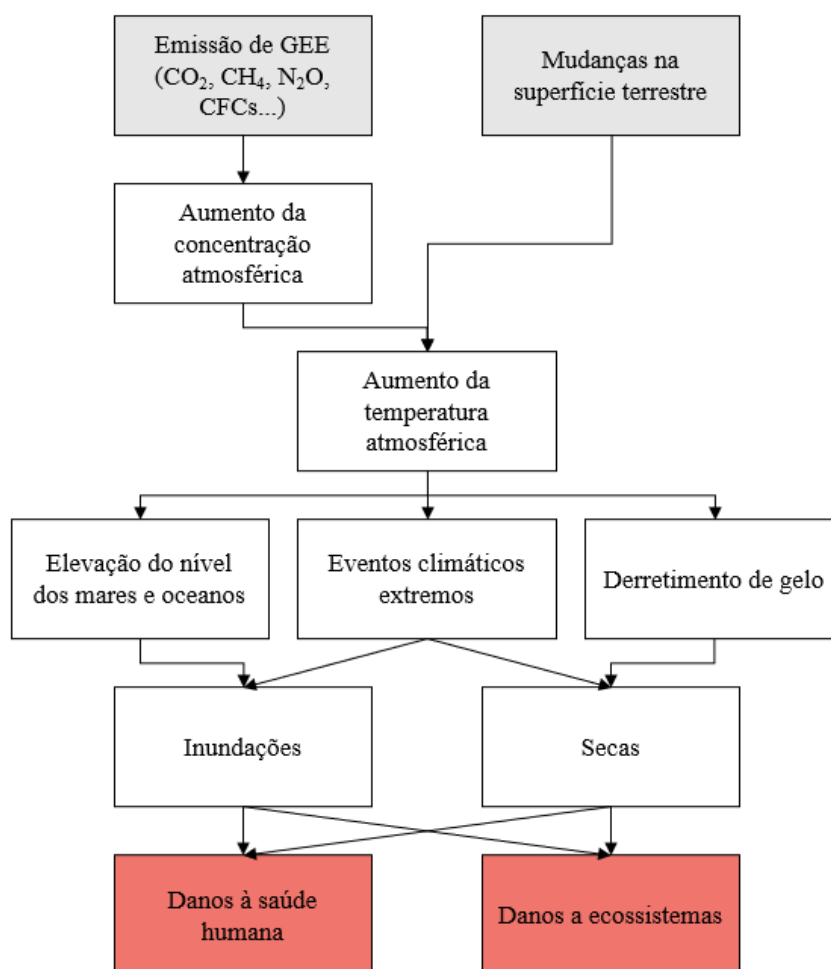


Figura 12. Cadeia de impacto da mudança climática (adaptado de Rosenbaum, 2017).

A métrica comumente adotada para quantificar os impactos ambientais da mudança climática é o Potencial de Aquecimento Global (GWP, na sigla em inglês). Essa métrica foi

introduzida pelo IPCC nos anos 90 (IPCC, 1990) e atualizada constantemente desde então, sendo representada pela Equação 5, onde a_i representa a radiação termal absorvida pelo aumento em uma unidade da concentração do gás i , $C_i(t)$ representa a concentração do gás i após um tempo t da emissão, e T o número de anos a serem integrados:

$$GWP_i = \frac{\int_0^T a_i \cdot C_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} \cdot C_{CO_2}(t) dt}$$

Equação 5. Cálculo do potencial de aquecimento global.

O GWP estabelece uma relação entre o forçamento radiativo de determinado gás em relação ao CO₂ em uma determinada escala de tempo, visto que determinados elementos como o metano possuem ciclos de vida curtos (em torno de 12 anos), e outros, como o óxido nitroso, possuem ciclos de vida longos (em torno de 120 anos). Exemplos de GWP podem ser observados na Tabela 1 (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

Tabela 1. Exemplos de potencial de aquecimento global (adaptado de Rosenbaum, 2017).

Substância	Molécula	Ciclo de vida atmosférico (em anos)	GWP 20 anos (kg CO ₂ -eq/kg GHG)	GWP 100 anos (kg CO ₂ -eq/kg GHG)
Dióxido de carbono	CO ₂		1	1
Metano	CH ₄	12	84	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	121	264	265

Todos os métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida usam o GWP para a caracterização dos impactos intermediários, sendo a caracterização dos impactos finais um desafio devido à complexidade da rede de mecanismos naturais, suas interações, à escala global e ao horizonte de tempo muito longo dos impactos. Em particular, danos à saúde humana são difíceis de serem modelados e, portanto, a interpretação de resultados relacionados aos impactos finais da mudança climática deve ser feita com ressalvas (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

2.2.2.3. Potencial de Depleção Abiótica

O potencial de depleção abiótica (PDA) é uma categoria de impacto que caracteriza a exploração de recursos naturais desprovidos de vida, englobando, por exemplo, metais e minerais (Swart and Dewulf, 2013; Drielsma *et al.*, 2016), combustíveis fósseis (Krausmann *et al.*, 2018), água (Kounina *et al.*, 2013) e solo (Vidal Legaz *et al.*, 2017). Há uma extensa discussão na literatura sobre a melhor forma de quantificar este impacto e possibilitar a comparação de resultados entre análises do ciclo de vida (Klinglmair, Sala and Brandão, 2014;

van Oers and Guinée, 2016), porém as variações nos escopos das análises e seus resultados ainda são motivo para divergências entre os estudos desenvolvidos (Schulze *et al.*, 2020a, 2020b).

A discussão sobre o PDA envolve aspectos como a dissipação de recursos escassos, a competição por recursos, e o declínio da qualidade dos recursos (Sonderregger *et al.*, 2017; Beylot *et al.*, 2020), e possibilita a análise de impactos que, por vezes, possuem tendências desconectadas de outras categorias de impacto, como o potencial de aquecimento global (Kosai, 2021). A utilização de recursos é um ponto social e econômico fundamental ao determinar o ponto de partida das atividades humanas presentes e futuras e, conseqüentemente, seu impacto ambiental (Udo de Haes *et al.*, 1999). A extração de recursos e a disponibilidade destes em determinado momento incorre na competição por esses recursos, com impactos econômicos diretos (Silva, Soares and Afonso, 2013; Brown *et al.*, 2014). Porém, para as atividades futuras, a extração e a utilização atual dos recursos pode evitar impactos, caso o fim de vida dos recursos seja eficiente e hajam poucas perdas por consumo ou dispersão. Há diferentes percepções sobre como categorizar o impacto da utilização de recursos, como assumindo a limitação econômica da mineração, assumindo que transformar recursos de baixa qualidade em recursos de alta qualidade consiste basicamente numa restrição energética, assumindo que a escassez é o fator limitante ou assumindo que os impactos decorrentes da mineração e do processamento dos recursos são os principais impactos (Steen, 2006; Hauschild *et al.*, 2013).

A extração de recursos e sua conversão em materiais para serem utilizados em sistemas produtivos requer a contabilização dos impactos associados ao consumo de energia e às emissões decorrentes, porém esses impactos são considerados por outras categorias de impacto e não são contabilizadas na depleção dos recursos abióticos.

Focando na disponibilidade dos recursos, parte-se do princípio de que recursos mais baratos ou de mais fácil acesso e recursos com alta concentração ou qualidade são extraídos primeiro, impactando no custo econômico e energético das futuras gerações para extrair um recurso de mesmo valor (Schneider *et al.*, 2014). A cadeia de impactos da depleção abiótica de recursos pode ser observada na Figura 13.

Recursos são divididos entre abióticos (materiais inorgânicos como água e metais, ou orgânicos desprovidos de vida no momento da extração, como combustíveis fósseis) e bióticos (com vida no momento da extração, originando biomassa), e também em renováveis e não-renováveis (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017).

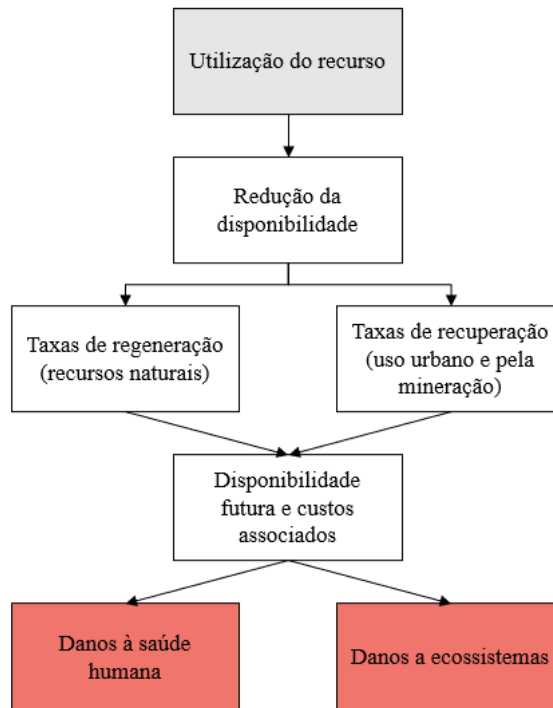


Figura 13. Cadeia de impacto da depleção abiótica (adaptado de Rosenbaum, 2017).

Para caracterizar os impactos da depleção abiótica, alguns métodos adotam uma medida de escassez de recursos baseada no total disponível e na taxa de extração, incluindo medidas para definir as reservas disponíveis no cenário tecnológico atual, ou disponíveis caso o valor do recurso aumente ou sua extração se torne mais eficiente. De qualquer forma, reservas conhecidas ou economicamente acessíveis variam com o tempo, e abordagens para a categorização de futuros impactos incluem a energia adicional, o custo adicional e a quantidade de recurso a ser trabalhada (Ponsioen, Vieira and Goedkoop, 2014; Vieira *et al.*, 2016). Recursos metais e minerais são normalmente caracterizados pela quantidade do metal a ser utilizada, e a quantidade do mineral extraída é catalogada nos inventários das bases de dados, havendo a possibilidade de incluir também estoques em circulação em bens e produtos atuais (Schneider, Berger and Finkbeiner, 2015). Além disso, a escala geográfica impacta a disponibilidade de recursos de modo que recursos comercializados globalmente são avaliados na escala global, mas recursos extraídos e utilizados regionalmente, como o gás natural (Hauschild, Rosenbaum and Olsen, 2017), são avaliados em outras escalas.

2.2.2. Veículos Elétricos

Os primeiros protótipos de carro elétrico foram desenvolvidos no meio do século XIX por cientistas de diferentes nacionalidades (Guarnieri, 2011), e modelos comerciais chegaram às ruas nas décadas seguintes. Porém, no início do século XX, a inserção de veículos movidos a gasolina no mercado somada à disponibilidade de petróleo a um baixo custo e às limitações técnicas dos veículos elétricos resultou na substituição total dos veículos elétricos por modelos a combustão (Yong *et al.*, 2015).

No fim do século XX, as grandes cidades começaram a sofrer os efeitos da poluição causada pela queima de combustíveis fósseis e locais como a Califórnia adotaram as primeiras medidas regulatórias com relação a emissões (Høyer, 2008). No início do século XXI, o interesse pelos carros elétricos e seus benefícios ambientais começou a ganhar força e diversos estudos vêm abordando os desafios associados à eletrificação do setor de transportes (Tseng, Wu and Liu, 2013; Haddadian, Khodayar and Shahidehpour, 2015; Newbery and Strbac, 2016; Biresselioglu, Kaplan and Yilmaz, 2018) e os incentivos necessários para a sua aplicabilidade em larga escala (Sierzchula *et al.*, 2014; Capuder *et al.*, 2020, Zimm, 2021).

Veículos elétricos e híbridos são considerados tecnologias promissoras para reduzir a emissão de GEE e outros gases poluentes (Kittner *et al.*, 2019), além de possuírem uma eficiência maior do que veículos a combustão tradicionais (Sadek, 2012). Por outro lado, veículos elétricos exigem a geração de eletricidade adicional (Tran *et al.*, 2012) e requerem a utilização de novos componentes tecnológicos que podem causar impactos adicionais ou distintos (Chan, 2007).

A eletrificação do setor de mobilidade se encontra em seu estágio inicial, e o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias, assim como de tecnologias já existentes, é crucial para garantir a sua viabilidade comercial (Yong *et al.*, 2015). As principais configurações de carro elétrico são o carro elétrico movido a bateria (BEV), o carro elétrico híbrido (HEV), e o carro elétrico movido a célula de combustível (FCEV) (Tran *et al.*, 2020; Ibrahim and Jiang, 2021).

Os BEV são completamente movidos por eletricidade armazenada em uma bateria, que precisa ser recarregada periodicamente em estações de carga, ou parcialmente por frenagem regenerativa (Kamrul *et al.*, 2021). A composição química e o *design* da bateria variam entre os modelos de BEV, com as baterias de lítio assumindo um papel de destaque pela alta

densidade energética, baixo peso, baixo custo e alta velocidade de carga (Yong *et al.*, 2015). Em comparação com os veículos a combustão tradicionais, os BEV apresentam maior eficiência e maior aceleração (Pollet, Staffell and Shang, 2012; Andwari *et al.*, 2017). Suas desvantagens incluem alto custo, baixa expectativa de vida, riscos relacionados à inflamabilidade das baterias e baixa disponibilidade de infraestrutura para carga (Andwari *et al.*, 2017).

Os HV são veículos que combinam a eletricidade com alguma outra fonte de energia, com frequência proveniente de um motor a combustão. Existem dois modelos principais de HEV: o primeiro um possui sistema de carga externo e é chamado de *plug-in*, e o outro é uma modelo em que a bateria é alimentada por um motor a combustão (Bai and Liu, 2021).

Os FCEV são sistemas que, assim como os BEV, são movidos totalmente por eletricidade; a diferença entre eles é que os FCEV tem como fonte de energia uma célula de combustível. A célula de combustível converte a energia química armazenada em algum vetor energético, tipicamente o hidrogênio, na eletricidade que alimenta o motor elétrico. Células de combustível são menores e mais leves do que baterias, porém são atualmente mais caras e são necessários avanços para que os FCEV se tornem competitivos (Offer *et al.*, 2011; Cano *et al.*, 2018; Staffell *et al.*, 2019).

A Figura 14 apresenta exemplos de configuração de BEV, HV e FCEV.

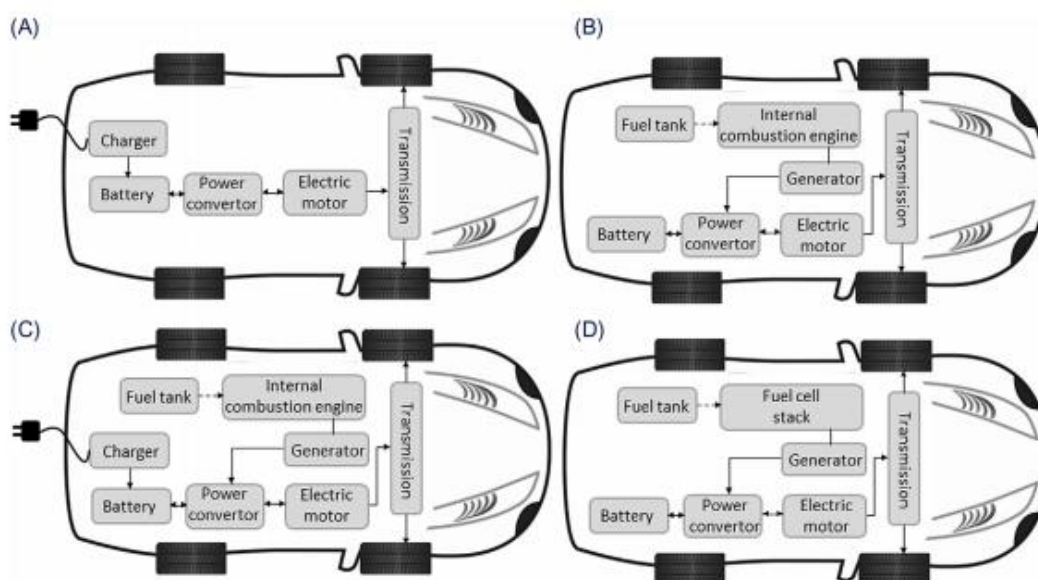


Figura 14. (A)BEV (B)HV (C)HEV Plug-in (D)FCEV (Adaptado de Kittner *et al.*, 2019)

2.2.1.1. Baterias

Diversos modelos comerciais de baterias para veículos elétricos já estão disponíveis: chumbo-ácido (Garche, Moseley and Karden, 2015), à base de níquel (Omar *et al.*, 2014) ou à base de lítio (Chen *et al.*, 2019). Entre elas, as baterias de lítio têm maior densidade de energia e de potência, maior eficiência energética e vida útil mais longa (Schuster *et al.*, 2015). Apesar de seu maior custo por ciclo, essa tecnologia tem se tornando predominante no mercado de veículos elétricos e espera-se que componha todos os novos modelos à venda em 2030 (Diouf and Pode, 2015; Manzetti and Mariasiu, 2015).

A evolução das baterias de lítio para veículos elétricos resultou no desenvolvimento de tecnologias com diferentes combinações de materiais (Scrosati and Garche, 2010; Sun *et al.*, 2020), cada uma destas tecnologias apresenta relações (*trade-off*) diferentes entre custos, vida útil, energia específica, segurança, performance e potência específica (Dinger, Martin and Mosquet, 2010).

Do ponto de vista ambiental, o crescimento da frota de veículos elétricos deve estimular também um aumento na demanda de lítio. A literatura (Pehlken, Albach and Vogt, 2017) estima que a demanda de lítio pela mobilidade elétrica será de aproximadamente 500.000 toneladas em 2030, 1.000.000 toneladas em 2040 e de 2.000.000 toneladas em 2050. A produção de baterias para veículos elétricos e híbridos representava 35% da demanda mundial de lítio em 2017 e estima-se que elas respondam por 66% desta demanda em 2025 (Swain, 2017). Caso o aumento da demanda de lítio não seja acompanhado pelo correspondente aumento na oferta por meio da extração mineral, uma crise poderia ter início já em 2023, criando assim a necessidade de potencializar a capacidade de reciclagem do lítio utilizado nas baterias. O percentual de reciclagem necessário para evitar uma crise é de 90%. Atualmente, menos de 1% do lítio de baterias de carros elétricos é reciclado (Swain, 2017).

2.2.1.2. Infraestrutura de Carga

O investimento em infraestrutura para o abastecimento de veículos elétricos é vital para a comercialização em larga escala. Com a tendência de redução do preço das baterias nos últimos anos, e a perspectiva de continuidade dessa redução (Nykqvist, Sprei and Nilsson, 2019), há uma preocupação de que a infraestrutura de abastecimento se torne um gargalo para a viabilidade comercial de veículos elétricos num futuro próximo (Wolbertus *et al.*, 2018).

A eletrificação da mobilidade é um processo que envolve diversas partes interessadas, como governos, montadoras, operadores de energia, fornecedores de novos equipamentos (Wirges, 2016), e a cadeia de valor proveniente dos novos modelos de negócios associados a ela permanece como uma interrogação (Bakker, Maat and van Wee, 2014; Sierzchula *et al.*, 2014). Além disso, os investimentos necessários possuem um prazo de retorno relativamente alto (Burnham *et al.*, 2017), e são, frequentemente, pouco rentáveis graças a baixa penetração atual dos veículos elétricos nos mercados (Madina, Zamora and Zabala, 2016). O investimento está concentrado nas vias mais movimentadas, onde a operação tende a ser economicamente viável (Ji and Huang, 2018). Os incentivos por parte de organizações governamentais incluem subsídios na operação, redução de impostos sobre investimentos ou isenção de taxas de eletricidade (Cansino, Sánchez-Braza and Sanz-Díaz, 2018).

Além das diversas tecnologias envolvidas em toda a infraestrutura de carga de carros elétricos (Shareef, Islam and Mohamed, 2016), a eventual adoção em larga escala dessas tecnologias significa uma nova gama de desafios a serem enfrentados, como a instabilidade da voltagem do sistema elétrico (Dharmakeerthi, Mithulananthan and Saha, 2014) e o aumento da demanda por eletricidade (Asamer *et al.*, 2016). Por outro lado, a possibilidade de fornecimento de energia armazenada no veículo de volta para a rede elétrica é uma abordagem vantajosa tanto para o consumidor como para o sistema elétrico (Ehsani, Falahi and Lotfifard, 2012; Drude, Pereira Junior and Rütther, 2014).

Do ponto de vista ambiental, a integração da infraestrutura com uma matriz elétrica baseada em fontes de energia renováveis tem o potencial de reduzir consideravelmente o número de emissões (He *et al.*, 2013; Nanaki and Koroneos, 2013; Bastida-Molina *et al.*, 2020). Contudo, a literatura (Sioshansi and Miller, 2011; Ma *et al.*, 2012; Kim and Rahimi, 2014) indica que a carga dos veículos elétricos pode incorrer em impactos maiores do que os impactos oriundos dos veículos a combustão caso seja feita em horários com pouca oferta de fontes renováveis ou em uma matriz energética com altos índices de combustíveis fósseis.

A tendência tecnológica de maior destaque com relação à infraestrutura de carga de baterias para veículos elétricos é o tempo necessário para a recarga (Kumar and Alok, 2020). O planejamento da localização e dimensão da infraestrutura apropriada também são fatores relevantes e que podem acarretar impactos econômicos (He *et al.*, 2013; Jia *et al.*, 2014; Lam, Leung and Chu, 2014).

3. METODOLOGIA

3.1. Análise do Ciclo de Vida

A ACV neste estudo é do tipo “berço-ao-túmulo”, considerando as fases de extração dos minerais, produção do carro, produção da bateria (para o modelo elétrico), uso do carro, fim de vida do carro e fim de vida da bateria (para o modelo elétrico). Tanto na fase de produção como no fim de vida dos dois modelos analisados, os processos analisados são equivalentes, e a principal distinção entre os modelos está no fornecimento de energia. Os processos de produção da bateria e de fim de vida da bateria foram considerados separadamente. Considerou-se a mesma vida útil para os dois modelos, sendo a matriz elétrica e a mistura de combustível utilizadas como fontes de energia a serem utilizadas por cada um na fase de uso. O Anexo A apresenta os fluxogramas montados no GaBi.

3.1.1. Definição dos Sistemas Tecnológicos

Como referência para a análise, foram utilizadas algumas especificações técnicas dos modelos JAC T40 (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020b) e JAC IEV40 (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020a), da JAC Motors, por constituírem o mesmo veículo, apenas com motorizações e sistemas de fornecimento de energia diferentes: o primeiro possui motor convencional e tanque de combustível e o segundo motor elétrico e bateria. Além disso, trata-se do único veículo vendido no Brasil (à época da elaboração deste estudo) que possui tanto a motorização a combustão interna, quanto a elétrica.

3.1.2. Unidade Funcional

A escolha da unidade funcional é a base para um estudo de ACV eficaz. Pode ser interessante usar um quilômetro rodado (1km) ou a distância de vida do veículo a depender do foco da análise. A partir da unidade básica, o estudo toma forma e pode-se comparar dados a curto, médio e longo prazo, como custo energético, monetário, quantidade de recursos utilizados e a capacidade de aproveitá-los. A análise almeja comparar a vida útil de veículos elétricos com a dos veículos a combustão interna e calcular a emissão de poluentes e a demanda por materiais e energia no contexto nacional brasileiro. Será adotado 1 quilômetro como a unidade funcional. Considera-se ainda que a vida útil, tanto do veículo com motor a combustão interna, quanto do veículo elétrico, será de 160.000 quilômetros. Esta é a distância média total percorrida pelos carros no Brasil durante sua vida útil (de Souza *et al.*, 2018).

3.1.3. Limites do Sistema

Os limites do sistema desta análise de berço-ao-túmulo consideram todo o ciclo de vida do veículo. Os insumos acompanhados são o aço, o cobalto, o níquel, o alumínio, o cobre e o lítio, por constituírem a maior parcela de peso e de valor econômico do carro e da bateria. O nosso país possui tecnologias e materiais para produzir e reciclar os carros. Entretanto, o mesmo não vale para as baterias que são importadas e exportadas para o uso e reciclagem respectivamente. Para efeitos de comparação, será traçado um cenário em que a produção e a reciclagem das baterias sejam realizadas no Brasil, visando um momento onde tais tecnologias estejam disponíveis no contexto nacional.

A análise do carro a combustão levará em conta as etapas de produção do veículo a partir do processamento dos materiais brutos até a fase de reciclagem, quando os materiais reciclados serão devolvidos para o início da cadeia de produção. A gasolina A (sem aditivos oxigenados) é proveniente de refinarias nacionais e de importação. O etanol é produzido de usinas brasileiras, tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar também produzida nacionalmente (Longati, Batista and Cruz, 2020; Postal *et al.*, 2020).

Considerou-se que o modelo de carro elétrico possui um motor elétrico e utiliza uma bateria para armazenar energia, sendo portanto um BEV. Além disso, na ACV foi considerado que a extração do aço para montagem das estruturas dos carros foi realizada no Brasil, assim como sua reciclagem. Quanto à bateria, considerou-se que a produção é feita na Alemanha e a reciclagem na Bélgica. O transporte em ambos os casos é feito por navios.

3.1.4. Inventários

Os inventários utilizados na maioria dos processos referem-se ao contexto brasileiro, havendo alguns casos em que não haviam dados disponíveis para o respectivo processo no Brasil. Nesses casos, inventários de processos do exterior foram considerados. Foram utilizados os inventários disponíveis na base de dados estudantil do GaBi referente ao ano de 2019, e, como exemplo, os fluxos de entrada e saída da matriz energética brasileira foram incluídos no Anexo B deste trabalho.

As bases de dados utilizadas pelo GaBi seguem diretrizes como a ILCD, a ISO/DTS 14071, a PEF, etc., conforme indicado pela revisão de uma consultoria independente (DEKRA Consulting, 2014), estando em contínua revisão para garantir conformidade com padrões internacionais.

3.2. Cenários de Análise

3.2.1. Matriz Energética

Considerando o aumento da demanda por eletricidade decorrente da eletrificação do setor de mobilidade urbana, é fundamental entender as perspectivas do setor de geração de energia ao substituir a demanda atual de combustíveis fósseis pela demanda por eletricidade. A International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020) projeta que as energias renováveis representarão 38% da oferta de eletricidade em 2030, equivalente a 17% da demanda total de energia, caso as tendências atuais sejam mantidas. A IRENA prevê ainda que em 2050 as energias renováveis atendam a 25% demanda mundial de energia (55% da geração de eletricidade) no seu cenário conservador. Contudo, ela projeta em um cenário otimista que 49% da demanda total e 86% da geração de eletricidade possam ser atendidos por fontes renováveis em 2050. Cenários da International Energy Agency (IEA, 2018) apontam que entre 14% (cenário conservador) e 30% (cenário otimista) da demanda mundial por energia poderá ser atendida por energias renováveis em 2040. Já o Greenpeace apresenta cenários otimistas para o aumento da participação das energias renováveis. Ele projeta que estas fontes de energia irão atender de 33 a 37% da demanda primária de energia em 2030, entre 55 e 66% em 2040 e entre 76 e 92% em 2050 (REN21, 2017).

No ano de 2019, quando a energia elétrica compunha 17,9% de toda a matriz energética do país, a previsão decenal da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) previu um aumento de 2,4% até o ano de 2029 (EPE, 2019b). Atualmente, 83,3% da matriz elétrica brasileira pode ser considerada renovável, com um domínio da fonte hidrelétrica, representando 66,6% da totalidade (EPE, 2019a). Entretanto, estima-se uma diminuição gradual da participação dessa fonte, dando lugar a outras fontes como solar e eólica (EPE, 2018).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) de 2019 indica que, num horizonte de dez anos, a produção de eletricidade por hidrelétricas (UHE e PCH) deve passar de 418 TWh (2019) para 538 TWh (2029). As demais fontes renováveis também devem apresentar aumentos significativos neste período: eólica de 65 para 155 TWh, solar de 6 para 34 TWh, e biomassa de 69 para 87 TWh (EPE, 2019a).

Nas análises do presente artigo, serão feitas duas comparações. A primeira entre o desempenho do carro elétrico no ano de 2019 e no ano de 2029, considerando a projeção da EPE para a evolução da matriz elétrica brasileira neste período. A segunda comparação

considerará os cenários da literatura (Pereira Jr. and Castro, 2018) para a evolução da matriz energética, desde o ano-base de 2015 até 2050. Essa distinção será feita porque os dados da EPE representam uma projeção mais perto da realidade, sendo tais projeções que orientam os investimentos do governo brasileiro no setor elétrico, porém a utilização de dados da literatura permite estimar a evolução do impacto dos carros elétricos no Brasil até 2050. Os dados utilizados nas simulações podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição das matrizes energéticas do Brasil, da Bélgica e da Alemanha e projeções da matriz energética brasileira (a - EPE, 2019; b - Pereira Jr. and Castro, 2018; c - GaBi)

Fonte	Potência instalada (% do total)							
	Brasil						Bélgica	Alemanha
	2019 (a)	2029 (a)	2015 (b)	2030 (b)	2040 (b)	2050 (b)	2019 (c)	2019 (c)
Hidrelétrica (UHE, PCH e CGH)	67,97	60,59	68,62	56,45	51,04	43,49	2,08	4,07
Solar (centralizada e distribuída)	0,98	3,83	0,01	6,56	10,58	16,82	3,99	5,76
Eólica	10,57	17,45	6,39	13,74	16,67	18,18	6,38	9,17
Nuclear	2,44	2,93	1,46	1,63	1,42	1,38	46,60	15,50
Gás natural	5,85	4,73	8,03	8,46	8,76	8,91	26,70	9,95
Biomassa	11,22	9,80	8,79	9,84	9,18	8,94	5,06	6,93
Carvão	0,98	0,68	2,33	1,72	2,07	2,05	6,09	45,58
Waste-to-Energy	0	0	0	0	0	0	2,88	2,16
Outros	0	0	4,37	1,61	0,29	0,22	0,22	4,07

3.2.2. Penetração de Mercado

Atualmente, algumas características dos carros elétricos como preço, tempo de recarga, expectativa de vida e autonomia têm contribuído para uma baixa penetração de mercado na maioria dos países (Liao, Molin and van Wee, 2017), porém há uma grande expectativa pela ascensão e consolidação dos mercados nas próximas décadas (Zubaryeva *et al.*, 2012). A International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020) projeta que a frota de carros elétricos ficará entre 269 e 379 milhões de unidades em 2030 e entre a 627 e 1.109 milhões de unidades em 2050.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elaborou dois cenários para o crescimento da frota de veículos elétricos no Brasil até 2050, conforme Figura 15. Um deles, denominado cenário de referência, considera um crescimento lento da eletro mobilidade no país, prevendo que em 2030 a frota veicular brasileira será composta aproximadamente por 96% por carros de combustão interna, 4% por carros híbridos e 0,14% por carros elétricos. Já em 2040, 81% dos carros serão de combustão interna, 13% serão híbridos e 6% serão elétricos. Finalmente, em

2050, 28% serão carros de combustão interna, 72% serão híbridos e 11% serão elétricos (EPE, 2018).

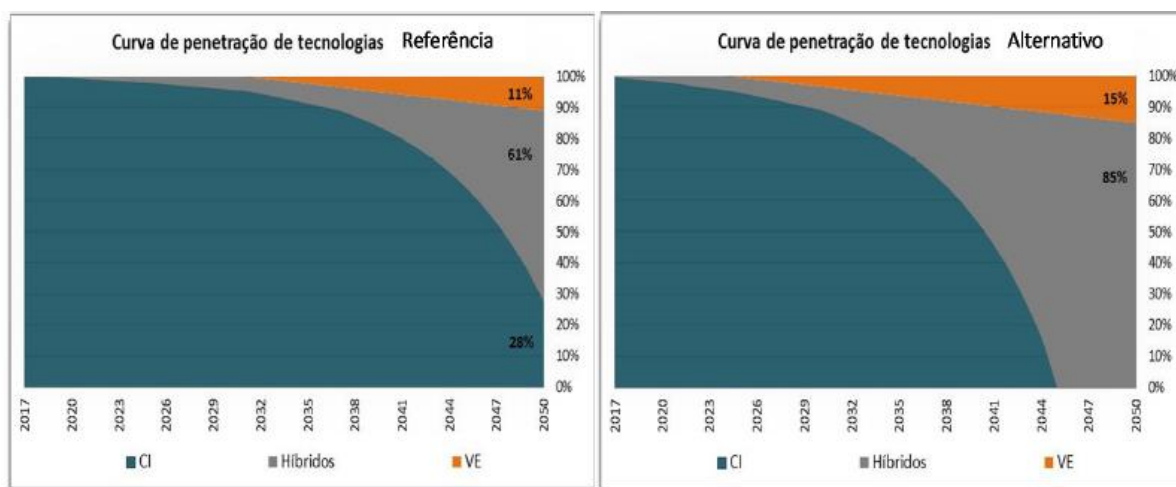


Figura 15. Cenários de penetração de veículos elétricos (EPE, 2018).

A EPE também apresenta uma projeção mais otimista (cenário alternativo) para o aumento da eletro mobilidade no Brasil. Nessa projeção, a EPE prevê a substituição completa dos veículos de combustão interna por veículos elétricos ou híbridos até 2045. A EPE realça que esse cenário só será possível se houver um grande incentivo por parte do poder público para a comercialização dos veículos elétricos, ou seja, redução de impostos e taxas sobre esses veículos. Assim, projeta-se que a frota veicular brasileira será composta 87% por carros de combustão interna, 9% por carros híbridos e 4% por carros elétricos em 2030. Já em 2040, 49% dos carros serão de combustão interna, 41% serão híbridos e 10% serão elétricos. Finalmente, em 2050, 0% serão carros de combustão interna, 85% serão híbridos e 15% serão elétricos (EPE, 2018). A Tabela 3 apresenta os dados da frota veicular brasileira para os anos 2019, 2029, 2030, 2040 e 2050. Foram incluídos na tabela apenas os carros elétricos e a combustão, pois estes são os modelos considerados neste estudo, e os veículos híbridos foram considerados veículos a combustão interna pela atual resistência dos consumidores à essa nova tecnologia (Rezvani, Jansson and Bodin, 2015; Jreige, Abou-Zeid and Kaysi, 2021; Mandys, 2021).

Tabela 3. Projeções da frota veicular brasileira (EPE, 2016, 2018; Sindipeças, 2020).

Fonte de energia do veículo	Composição da Frota (milhões de unidades)				
	2015 (a)	2019 (a)	2030 (b)	2040 (b)	2050 (b)
Total	34,5	37,9	65	95	130
Cenário referência					
Gasolina	34,5	37,88	64,9	90,2	115,7
Elétrico	0	0,02	0,1	4,8	14,3
Cenário alternativo					
Gasolina	34,5	37,88	62,4	85,5	110,5
Elétrico	0	0,02	2,6	9,5	19,5

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1. Análise do Ciclo de Vida

A análise do ciclo de vida de ambos os modelos propostos inclui as etapas de produção, vida útil e fim de vida dos veículos, e foi originalmente concebida por alunos de graduação da turma de Introdução à Ecologia Industrial, sendo adaptada para este trabalho com as devidas autorizações. A Figura 16 exibe o fluxograma geral do ciclo de vida de ambos os modelos propostos.

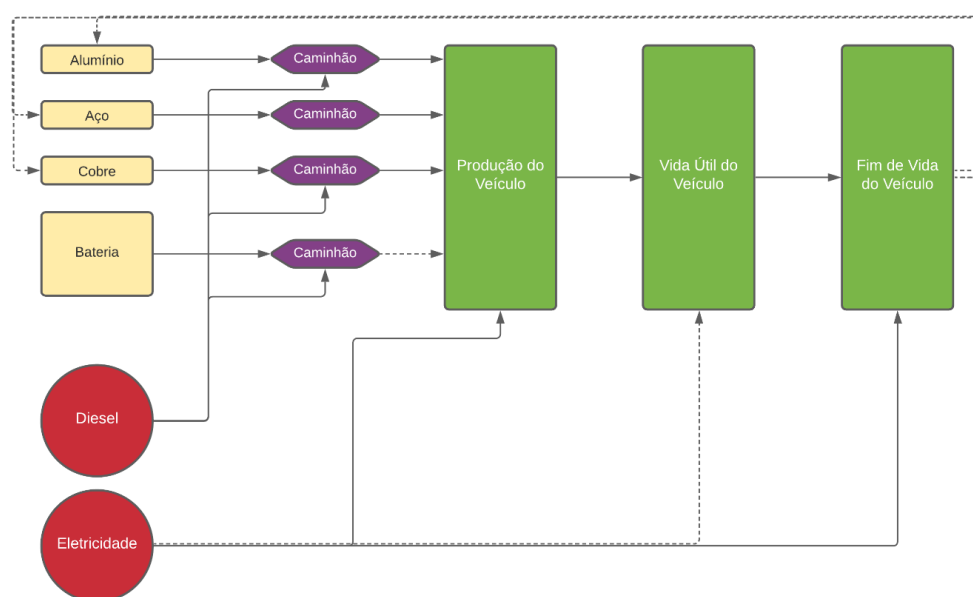


Figura 16. Fluxograma do ciclo de vida dos veículos.

4.1.1 Produção do Veículo

A produção de um carro engloba a utilização de diversos materiais que, por sua vez, possuem uma variedade de composições. Isso dificulta o processo de rastreamento dos dados para a utilização em um estudo de ACV e agrega um nível de especificidade tecnológica que vai além do escopo desta dissertação. Os modelos escolhidos como base para a análise conduzida neste estudo são o JAC IEV40 (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020a) e o JAC T40 (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020b) pois, embora haja poucas informações a respeito da sua produção, são modelos comercializados no Brasil e cuja principal distinção é justamente a motorização elétrica ou a combustão.

Para caracterizar a composição de cada um dos veículos, os percentuais de composição de materiais para veículos a combustão e elétrico foram baseados na literatura (Hawkins *et al.*, 2013; Kosai *et al.*, 2021), e detalhados na Tabela 4. Considera-se na ACV apenas os principais metais e plásticos. Estes materiais representam mais de 80% dos materiais dos carros analisados. Fluidos e outros materiais não serão considerados na ACV.

Destaca-se que apesar destes dois modelos serem produzidos na China e exportados para o Brasil, considerou-se neste estudo que a produção de ambos os modelos é feita no Brasil. Esta escolha se justifica pelo fato de a maior parte dos carros utilizados no país serem veículos nacionais e não importados. As distâncias terrestres utilizadas para o transporte dos componentes até a fase de produção foram adotadas como 100 quilômetros.

Tabela 4. Fase de produção do carro - Jianghuai Automobile Co. Ltda (2020a, 2020b) e Hawkins *et al.* (2013).

Entrada	Saída	JAC T40	JAC IEV40	Unidade
		Quantidade		
Alumínio		95,5	96,5	Kg
Cobre		25,8	26,8	Kg
Aço		974	975	Kg
Polietileno		0,16	10,25	Kg
Polipropileno		42,66	32,63	Kg
Poliestireno		4,24	4,66	Kg
Poliestireno tereftalato		0,43	0,48	Kg
Eletricidade		123	123	GJ
	Carro	1	1	unidade

4.1.2 Produção da Bateria

O modelo de bateria para o carro elétrico adotado neste estudo é composto por NCA (lítio-níquel-cobalto-alumínio). Este modelo vem ganhando relevância no mercado automobilístico devido ao bom desempenho, elevada densidade energética e alta energia específica (Hannan *et al.*, 2018). O inventário utilizado no processo de produção de baterias do tipo NCA é o apresentado por (Yin, Hu and Yang, 2019). Considerou-se uma bateria NCA de 40 kWh, equivalente à utilizada no JAC IEV40 (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020a). Os dados utilizados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Fase de produção da bateria (baseado em Yin, Hu and Yang, 2019)

Entrada	Saída	Quantidade	Unidade
Lítio		47,2	kg
Níquel		126,3	kg
Alumínio		6,9	kg
Cobalto		26,3	kg
Cobre		113,3	kg
Eletricidade		38,1	GJ
Gás Natural		4,35	kg
	Bateria	1	unidade
	CO ₂	12,25	kg

Considerou-se na ACV que as baterias são produzidas na Europa e exportadas para o Brasil, conforme exibido na Figura 17. O motivo desta escolha é que, diferentemente dos carros, não existe atualmente (2021) no Brasil qualquer fábrica para a produção de baterias elétricas no Brasil. No entanto, um dos cenários analisados neste estudo contempla a produção das baterias no Brasil e os impactos dessa opção na ACV. As distâncias terrestres foram padronizadas em 500 quilômetros, e as distâncias de transporte marítimo foram padronizadas em 10.000 quilômetros (a distância entre os portos de Hamburgo e Santos), tanto para exportação da bateria para o Brasil, quanto sua importação para ser reciclada na Bélgica, havendo uma etapa de transporte terrestre de 500 quilômetros entre Hamburgo e Bruxelas.

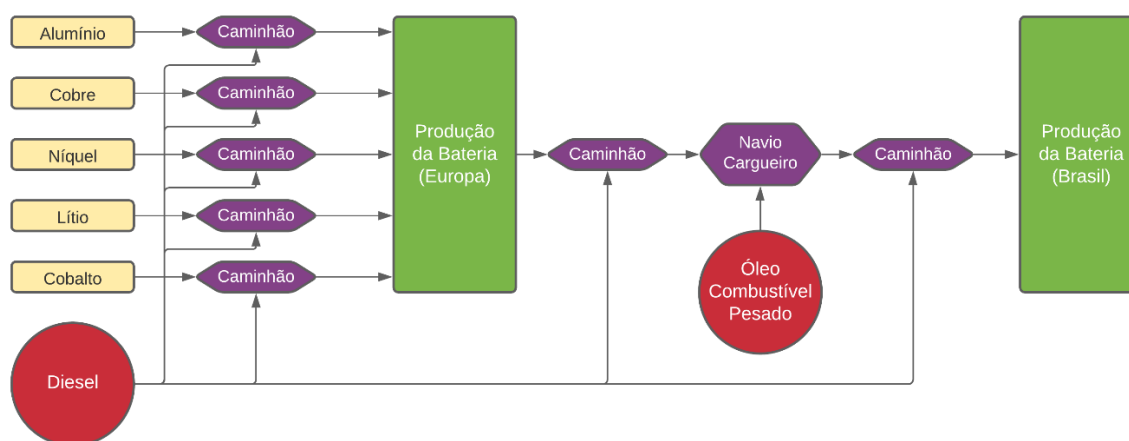


Figura 17. Fluxograma de produção da bateria.

4.1.3 Geração de Eletricidade e Produção de Combustível

Um plano específico foi criado para a matriz elétrica brasileira que é utilizada tanto nos processos descritos quanto na fase de uso dos veículos elétricos. O plano foi criado tendo como base os processos de referência para cada tipo de fonte de energia elétrica da base de dados GaBi (ex: “BR – Electricity from hydro power” para a fonte hidrelétrica). Este plano foi parametrizado de modo que se pudesse alterar a participação de cada tipo de fonte na matriz energética brasileira, dependendo do cenário de análise. Os processos disponíveis na base de dados GaBi, “BE – Electricity grid mix” e “DE – Electricity grid mix”, foram utilizados para a matriz elétrica da Bélgica e da Alemanha, respectivamente. Os percentuais de cada tipo de fonte na matriz energética de Brasil, Bélgica e Alemanha são apresentados na Tabela 2.

A gasolina utilizada no Brasil consiste na mistura E27, regulada pela legislação brasileira, que exige uma porcentagem volumétrica de 18% a 27% de etanol. A regulamentação

do combustível foi implementada na década de 1970 almejando aumentar a eficiência do combustível e a performance do veículo, assim como reduzir as emissões de poluentes (Shikida and Perosa, 2012). O etanol, no Brasil, tem como matéria prima a cana-de-açúcar e, na indústria automotiva brasileira, é utilizado principalmente como aditivo na gasolina. Esse combustível se popularizou a partir de 1975, devido a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), como resposta à crise do petróleo (Shikida and Perosa, 2012). A produção do etanol envolve as etapas de produção agrícola da cana-de-açúcar, o transporte até as refinarias, e o refino por meio de diversas etapas industriais (Rocha *et al.*, 2014). Neste estudo, o teor de etanol utilizado foi de 25%.

Apesar de ser um grande produtor de petróleo, o Brasil não possui capacidade tecnológica para refinar grande parte de sua produção e, portanto, importa gasolina (David *et al.*, 2020). Utilizou-se neste estudo o processo “*Brazil – Gasoline mix (regular) at refinery*” do GaBi, que leva em consideração os fatores expostos.

4.1.4 Distribuição de Eletricidade e Combustíveis

Os processos de geração de eletricidade disponíveis na base de dados GaBi consideram o acesso à energia no ponto de consumo. Desta maneira, não é necessário considerar no modelo perdas na transmissão e distribuição de eletricidade, pois elas já estão contempladas nos processos da base de dados GaBi.

A distribuição dos combustíveis entre as refinarias e os postos de abastecimento de combustível não está contemplada nos processos da base de dados GaBi. Estes processos consideram os combustíveis disponíveis nas refinarias. A distribuição dos combustíveis, etanol e gasolina, da refinaria até os postos de gasolina não será considerada na ACV. Entende-se que esta etapa não influencia de maneira significativa os resultados da análise ambiental.

4.1.5 Fase de Uso do Veículo

O ciclo de vida do veículo durante a fase de uso foi analisado de acordo com a vida útil média dos veículos leves no Brasil. Foram considerados os gastos energéticos dos veículos de acordo com a distância percorrida. A vida útil dos veículos a combustão está diretamente relacionada à distância percorrida. Isso permite que a quantidade de combustível consumida seja facilmente determinada. Os veículos elétricos, no entanto, têm sua vida útil dependente de diversos fatores como os ciclos de carga e a eficiência da bateria. Contudo, a quantidade de energia gasta durante esse período ainda pode ser relacionada com a distância percorrida. O

consumo médio do modelo elétrico JAC IEV40 é de 7,5 km/kWh (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020a), e o do modelo com motor de combustão interna JAC T40 é de 13 km/l (Jianghuai Automobile Co. Ltda, 2020b). Considerando a vida útil de 160.000 km, chega-se aos valores de gasto energético na fase de uso dos carros, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Quantidade de energia consumida na fase de uso do carro.

Veículo	Ciclo de vida (160.000km)			Para a unidade funcional (1km)		
	Gasolina (l)	Etanol (l)	Eletricidade (kWh)	Gasolina (l)	Etanol (l)	Eletricidade (kWh)
Combustão interna	8.984,62	3.323,08		0,056	0,021	
Elétrico			21.333,33			0,133

Não serão consideradas na ACV peças de reposição ao longo da vida útil do veículo. Conforme indicado em vários estudos, estas peças não tem impacto significativo na ACV, sendo, em geral, desconsideradas (Raugei *et al.*, 2015; de Souza *et al.*, 2018; Marmiroli *et al.*, 2018).

4.1.6 Fim de Vida

O processo de fim de vida dos carros é composto por várias etapas: descontaminação, desmontagem, separação e seleção dos materiais que não serão triturados, prensagem e trituração, nova separação e separação magnética, separação final por densidade e/ou por solventes e redução da matéria-prima (Medina and Gomes, 2003). A partir dessa etapa final, a matéria-prima secundária está pronta para ser utilizada.

Tabela 7. Fim de vida do carro - Jianghuai Automobile Co. Ltda (2020a, 2020b), Hawkins *et al.* (2013) e Boureima *et al.* (2009)

Entrada	Saída	Quantidade		Unidade
		JAC T40	JAC IEV40	
Carro		1	1	Unidade
Eletricidade		1,37	1,48	GJ
	Alumínio	88,1	89	kg
	Cobre	21,9	22,8	Kg
	Aço	967	968	Kg

Apesar de a reciclagem de diversos materiais do carro ser possível, apenas a reciclagem do aço, do alumínio e do cobre serão consideradas. As taxas de reciclagem utilizadas foram: 99,82% para o aço, 93,20% para o alumínio e 88,53% para o cobre (Boureima *et al.*, 2009). Os dados utilizados são apresentados na Tabela 7. Será utilizado na ACV um sistema de créditos, de modo a abater dos custos de produção, os créditos gerados pela reciclagem dos veículos.

4.1.7 Reciclagem da Bateria

A empresa belga Umicore realiza um processo de reciclagem de baterias com capacidade de 7.000 toneladas por ano, produzindo cerca de 35 mil unidades de baterias para carros elétricos. As baterias em fim de vida são tratadas pirometalurgicamente, obtendo dois principais produtos: a fase metálica, composta de Co, Ni e Cu, e a escória (que contém Li, óxidos de Al, de Si, de Ca, Mn e algum Fe restante). Então, a fração metálica é refinada por procedimento hidro metalúrgico, onde Li, Cu, Co, Ni, Zn e Fe são recuperados por dissolução e precipitação (Umicore, 2020). Esta combinação de processos garante que os metais (Co, Ni, Zn) possam ser reaproveitados com rendimentos de 95% e seus compostos usados em materiais catódicos para posterior reutilização em novas baterias (Danino-Perraud, 2020). Da escória, extraem-se alguns metais e óxidos raros.

Neste estudo foram utilizados os valores para a reciclagem indicados na literatura (Buchert *et al.*, 2011), que faz uma ACV da reciclagem de baterias na Europa. A partir dos resultados ambientais da ACV, determinou-se a quantidade de lítio que é reciclada por meio da comparação dos valores de depleção abiótica apresentado e o valor da depleção abiótica associado ao lítio no GaBi. A eletricidade utilizada foi calculada comparando-se os valores de emissão de GEE dos processos de consumo de eletricidade com o valor das emissões de GEE por kWh da matriz energética disponível no GaBi para a Bélgica.

Tabela 8. Processo de reciclagem das baterias

Entrada	Saída	Quantidade	Unidade
Bateria		1	Ton
Eletricidade		0,71	GJ
	CO ₂ eq	1.158,7	Kg

Os demais valores utilizados são resultado da subtração do valor global dos impactos ambientais da reciclagem da bateria dos valores referentes ao lítio e à eletricidade. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 8. Destaca-se que se considerou na ACV que a reciclagem das baterias é feita na Europa. Assim como no caso da produção da bateria, a justificativa para esta escolha é que não há no Brasil fábricas para reciclagem de baterias de lítio de carros elétricos.

4.2. Discussão de Resultados

4.2.1. Produção e Reciclagem da Bateria

Os resultados obtidos ao realizar a análise do ciclo de vida do carro elétrico com a bateria sendo produzida e reciclada na Europa estão listados na Tabela 9. Vale ressaltar que, mesmo havendo impactos relacionado ao transporte da bateria, em termos absolutos tais valores são pouco significativos; os maiores impactos são decorrentes da produção e reciclagem da bateria. Particularmente, a produção da bateria chama atenção por representar 93% da demanda de energia primária, e também 93% do potencial de aquecimento global.

Tabela 9. Produção e reciclagem da bateria na Europa.

Europa	Produção da bateria	Transporte da bateria	Transporte da bateria para reciclagem	Reciclagem da bateria	Total
Primary energy demand [MJ]	123.729,83	516,19	391,27	8.394,11	133.031,40
Global Warming Potential [kg CO2 eq.]	6.027,23	37,57	28,73	387,92	6.481,46
Abiotic Depletion [kg Sb eq.]	0,002999	0,000001	0,000001	-0,067191	-0,064190

Para efeitos de comparação, e pressupondo um cenário de futura disponibilidade das rotas tecnológicas de produção e reciclagem de baterias elétricas no Brasil, a Tabela 10 indica os impactos resultantes da análise no contexto nacional. Novamente percebe-se a relevância das etapas de produção e reciclagem, com a etapa de produção correspondendo a 92,2% da demanda de energia primária, e 84,4% do potencial de aquecimento global.

Tabela 10. Produção e reciclagem da bateria no Brasil.

Brasil	Produção da bateria	Transporte da bateria	Transporte da bateria para reciclagem	Reciclagem da bateria	Total
Primary energy demand [MJ]	99.485,60	30,55	0,00	8.342,25	107.883,75
Global Warming Potential [kg CO2 eq.]	2.095,59	1,98	0,00	383,19	2.482,62
Abiotic Depletion [kg Sb eq.]	0,002854	0,000000	0,000000	-0,067186	-0,064332

Quando comparados os dois cenários (a **Error! Reference source not found.** exibe os resultados normalizados devido às diferentes unidades das categorias de impacto), percebe-se uma redução considerável nas duas primeiras categorias de impacto quando a cadeia de produção, transporte e reciclagem da bateria ocorre no Brasil, havendo um leve aumento do potencial de depleção abiótica.

Produção, Transporte e Reciclagem de Baterias

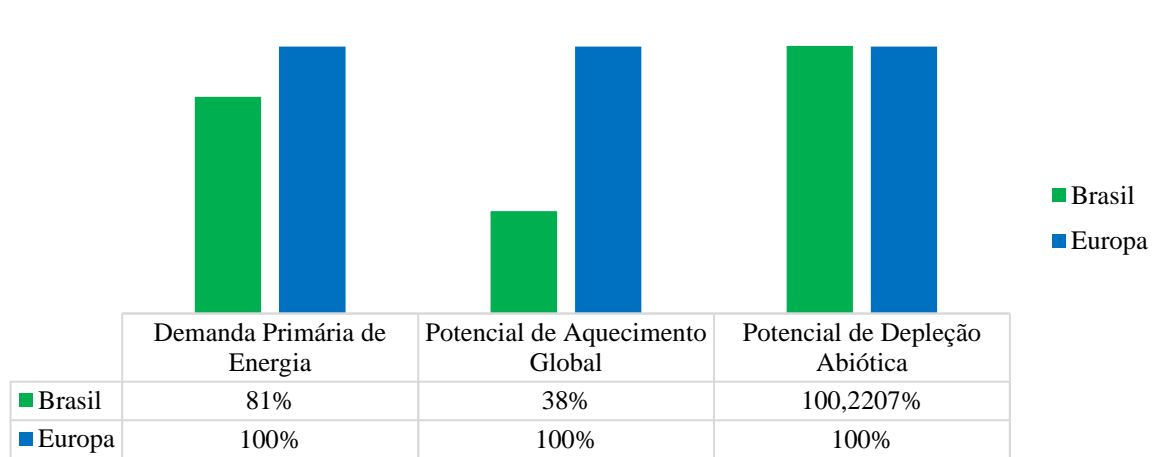


Figura 18. Comparação entre impactos causados pela produção e reciclagem da bateria no Brasil e na Europa.

4.2.2. Carro Elétrico x Carro a Combustão

Para comparar tecnologicamente os dois modelos, a primeira categoria de impacto a ser analisada é a demanda de energia primária. Por ser um índice que avalia a eficiência energética total da cadeia de processos que envolve a produção, utilização e fim de vida de um carro, e quando comparados dois modelos equivalentes, os resultados apontam a tecnologia que, mesmo na eventualidade de abundância de energia, proporciona a disponibilidade da energia excedente ou a redução de preços. O consumo de energia primária estimado para o carro a combustão foi de 706.825,82 MJ, frente ao consumo de 623.435,38 do carro elétrico com a cadeia tecnológica da bateria na Europa, e 598.268,49 MJ do carro elétrico com a cadeia tecnológica nacional; uma redução de 11,8% e 15,4%, respectivamente, no consumo de energia primária, conforme indicado na Figura 19.

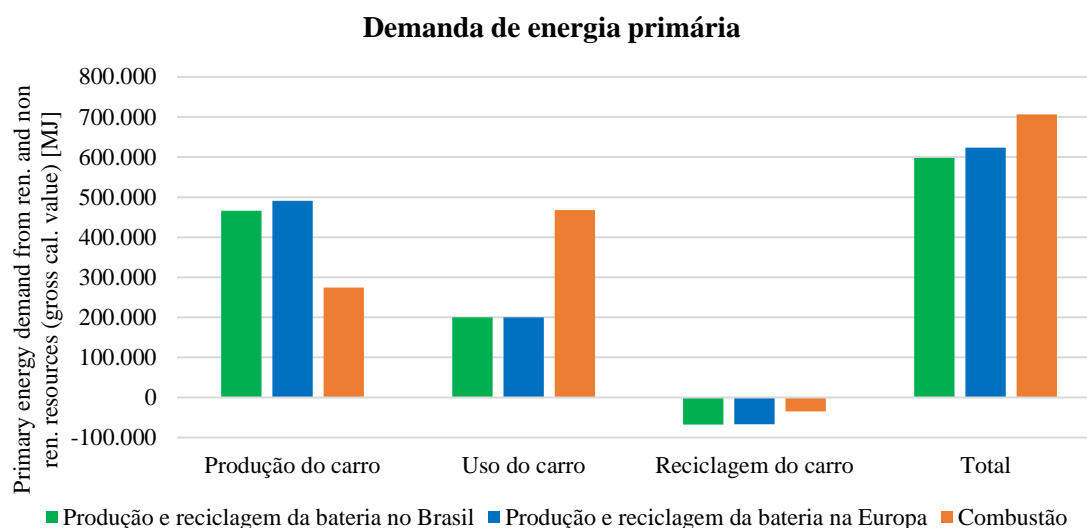


Figura 19. Resultados da demanda de energia primária.

A segunda categoria a ser analisada é o potencial de aquecimento global, cujos resultados estão exibidos na Figura 20. As emissões totais do carro a combustão representam 28.868,19 kgCO₂eq, enquanto as emissões totais do carro elétrico representam 16.931,38 kgCO₂eq e 12.932,56 kgCO₂eq, com a produção e reciclagem da bateria na Europa e no Brasil, respectivamente. A redução do impacto ao longo do ciclo de vida dos veículos elétricos equivale a 41,35% e 55,2% do total de emissões ao longo do ciclo de vida do veículo a combustão.

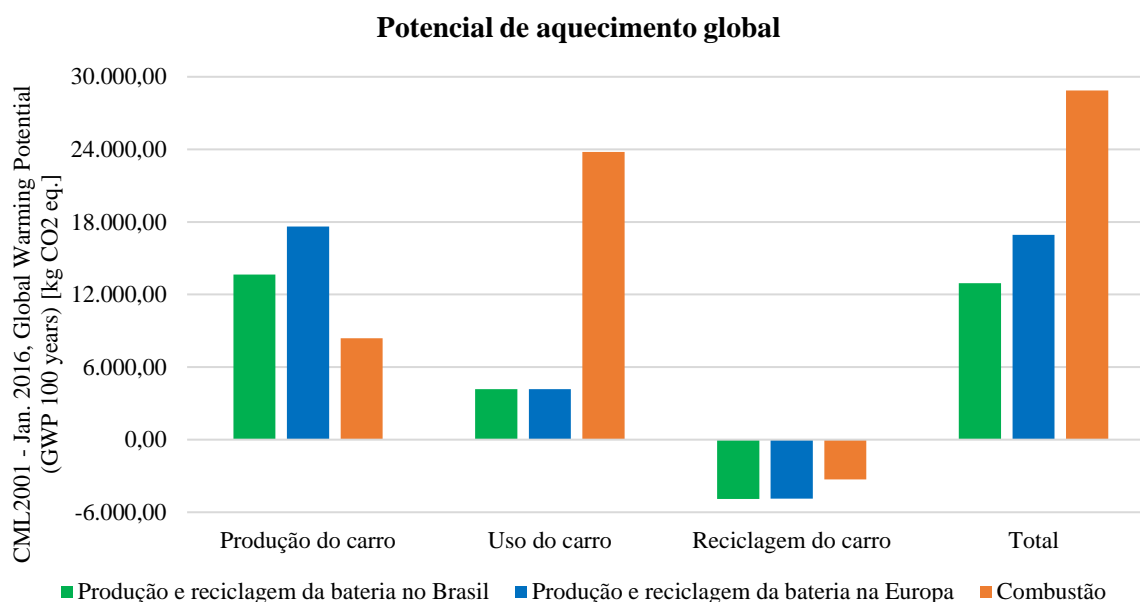


Figura 20. Resultados do potencial de aquecimento global.

O potencial de depleção abiótica de recursos dos sistemas, indicado pela Figura 21, aponta para um impacto menor do modelo a combustão durante a fase de produção do carro. Porém, quando somadas as três fases, ambos os modelos elétricos apresentam redução no potencial de depleção abiótica; 0,024 kgSbeq no caso da produção e reciclagem da bateria no Brasil e 0,023 kgSbeq no caso da produção e reciclagem da bateria na Europa, frente a 0,033 kgSbeq no caso do modelo a combustão. A redução é de 27,3% no primeiro caso, e 30,3% no segundo caso.

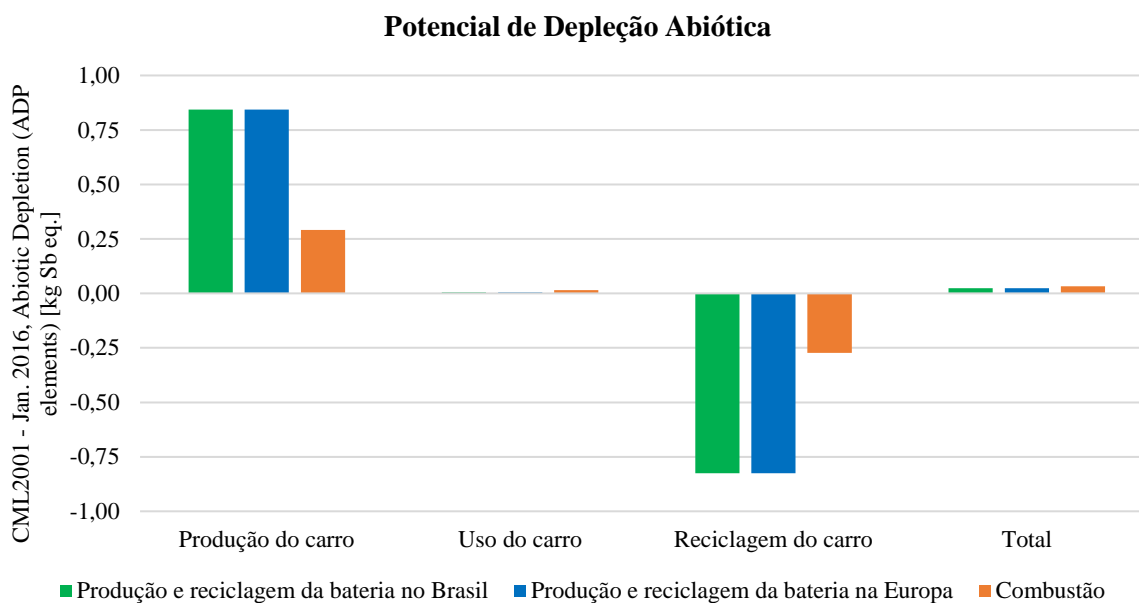


Figura 21. Resultados o potencial de depleção abiótica.

4.2.3. Carro Elétrico 2015 – 2050

Levando em consideração as perspectivas futuras de estruturação da matriz energética brasileira, a Figura 22 exibe a demanda de energia primária de todo o ciclo de vida do veículo elétrico no horizonte estabelecido. A demanda de 612.773,3 MJ no ano de 2015 tende a sofrer um aumento de 9,3% até 2050, quando a demanda será de 669.761,3 MJ. Nota-se uma redução do impacto no ano de 2030, possivelmente pelos dados dos anos de 2019 e 2029 serem provenientes de uma fonte distinta.

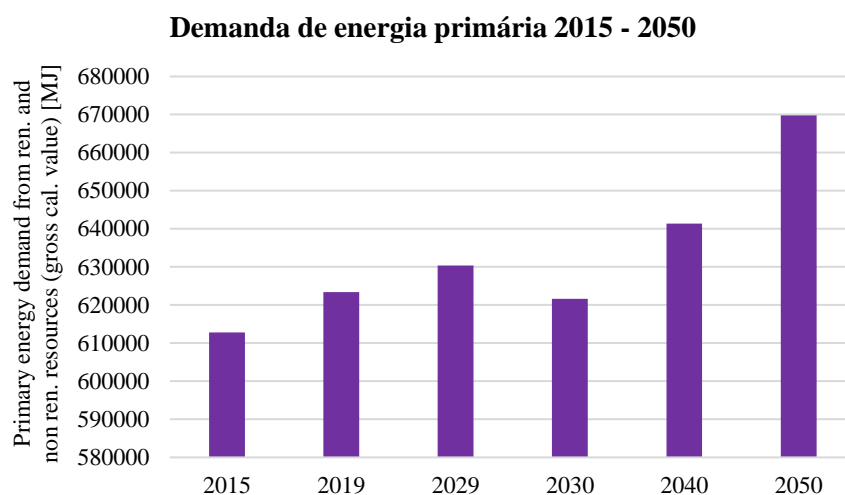


Figura 22. Demanda de energia primária 2015-2050.

Conforme apresentado na Figura 23, o potencial de aquecimento global apresenta uma variação menor no impacto entre os anos de 2015 e 2050, um aumento de apenas 2,2%, indo de 16.926,7 kgCO₂eq até 17.300,3 kgCO₂eq. A redução de impactos no de 2029 se deve à perspectiva de estruturação da matriz energética com fontes renováveis em um horizonte mais curto de tempo.

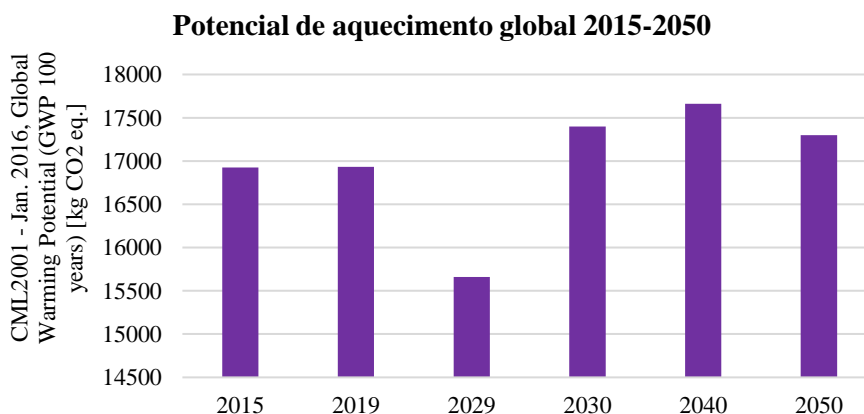


Figura 23. Potencial de aquecimento global 2015-2050.

Seguindo uma tendência regular até 2040, e conforme exibido na Figura 24, o potencial de depleção abiótica sofre um aumento em 2050, elevando o impacto de 0,0232 kgSbeq em 2015 até 0,0243 kgSbeq em 2050; uma variação de 4,74%.

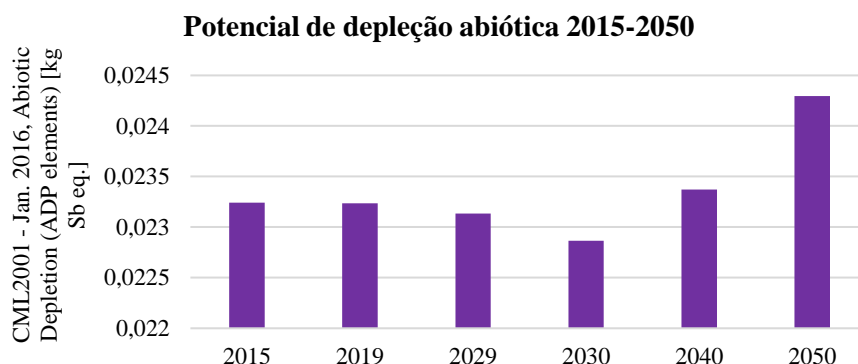


Figura 24. Potencial de depleção abiótica 2015-2050.

4.2.4. Desempenho da Frota Veicular Brasileira de 2015 a 2050

No decorrer do espaço de tempo analisado, há um expressivo aumento dos impactos ambientais da frota veicular brasileira, tanto no cenário referência quanto no cenário alternativo. Além dos cenários propostos originalmente, foram traçados também análises de sensibilidade considerando penetração nula e total dos veículos elétricos no mercado, porém esta última análise desconsidera a reestruturação da matriz energética associada ao aumento na geração de eletricidade necessário para abastecer toda a frota de veículos. A aplicação ideal da ACV nessa situação seria uma análise consequencial da adoção total dos veículos elétricos e seus efeitos na matriz energética como um todo.

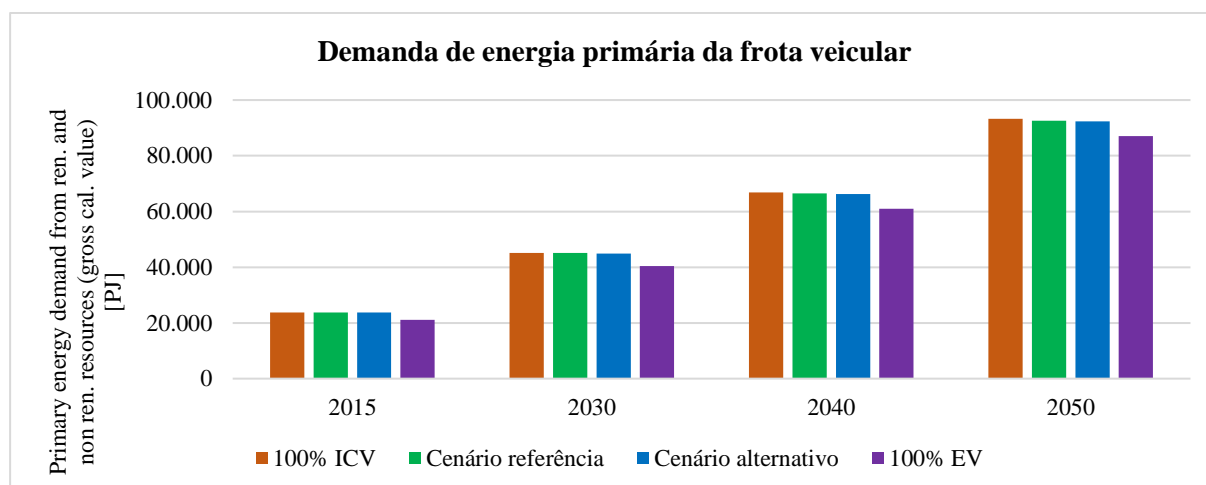


Figura 25. Demanda de energia primária da frota veicular.

Apesar do aumento da participação de veículos elétricos, os impactos decorrentes do crescimento da frota veicular superam os ganhos obtidos com a substituição parcial dos veículos à combustão interna. No caso da demanda primária de energia, conforme Figura 25, o consumo é de 23.794,8 PJ em 2015, 45.103,4 PJ em 2030, 66.547,1 PJ em 2040 e 92.594 PJ em 2050 no cenário referência, com uma pequena redução nos valores no cenário alternativo. Na análise de sensibilidade com penetração total, o a demanda de energia primária foi de 21.140,68 PJ em 2015, 40.403,39 PJ em 2030, 60.928,85 PJ em 2040 e 87.068,96 PJ em 2050. No caso da penetração nula, 23.794,79 PJ, 45.110,65 PJ, 66.846,13 PJ e 93.276,89, respectivamente.

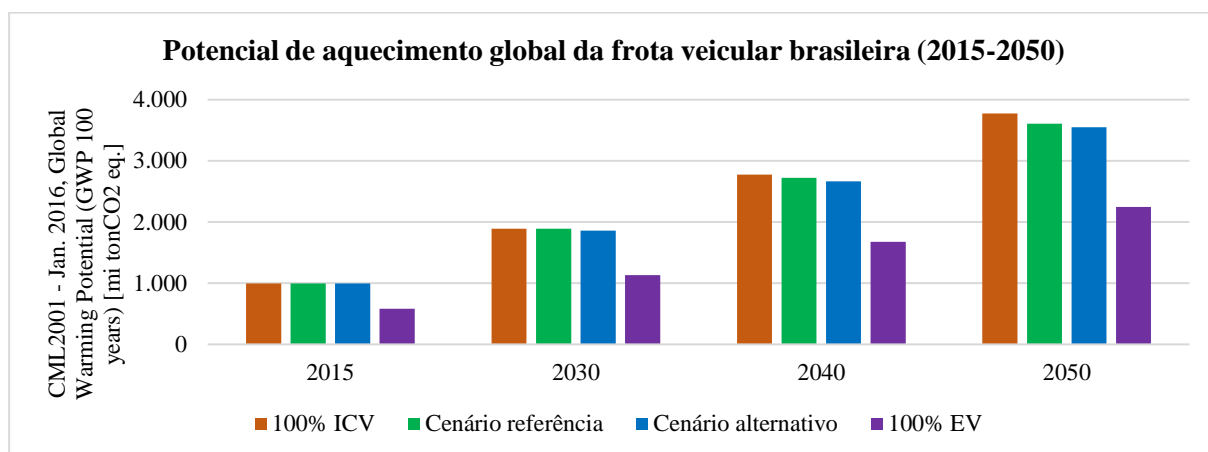


Figura 26. Potencial de aquecimento global da frota veicular.

No caso do potencial de aquecimento global, a variação entre os dois cenários é mais relevante, conforme exibido na Figura 26. Os valores para os cenários de referência e alternativo são, respectivamente, 996 1000tonCO₂eq e 996 1000tonCO₂eq em 2015, 1.890 1000tonCO₂eq e 1.861 1000tonCO₂eq em 2030, 2.721 1000tonCO₂eq e 2.666 1000tonCO₂eq em 2040 e 3.608 1000tonCO₂eq e 3.547 1000tonCO₂eq em 2050. A análise de sensibilidade resultou em 584 1000tonCO₂eq em 2015, 1.131 1000tonCO₂eq em 2030, 1.678 1000tonCO₂eq em 2040 e 2.249 1000tonCO₂eq em 2050 no caso de penetração total, e 995 1000tonCO₂eq, 1.891 1000tonCO₂eq, 2.776 1000tonCO₂eq e 3.776 1000tonCO₂eq, respectivamente, no caso de penetração nula.

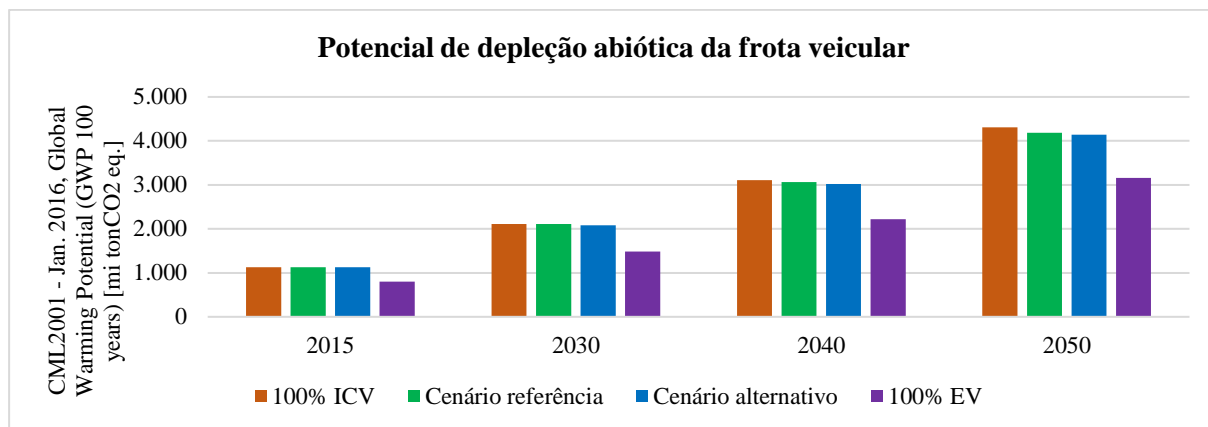


Figura 27. Potencial de depleção abiótica da frota veicular.

Com relação ao potencial de depleção abiótica, os valores encontrados para 2015, 2030, 2040 e 2050 são, respectivamente 1.126 tonSbeq, 2.108 tonSbeq, 3.062 tonSbeq e 4.184 tonSbeq no cenário de referência, 1.126 tonSbeq, 2.084 tonSbeq, 3.018 tonSbeq e 4.138 tonSbeq no cenário alternativo, e 801 tonSbeq, 1.486 tonSbeq, 2.220 tonSbeq e 3.158 tonSbeq na análise de sensibilidade com penetração total, e 1.126 tonSbeq, 2.109 tonSbeq, 3.107 tonSbeq e 4.310 tonSbeq, respectivamente, com penetração nula conforme Figura 27.

4.2.5. Resultados da Literatura

Os resultados encontrados na literatura para a análise do ciclo de vida de veículos elétricos variam consideravelmente, muito em parte por divergências na fases de definição das fronteiras do sistema, níveis distintos de detalhe e qualidade das bases de dados, variações na vida útil, diferenças na topologia e massa dos veículos, tecnologia da baterias, performance dos veículos e composição das matrizes elétricas (Hawkins, Gausen and Strømman, 2012). Embora a maioria dos estudos aborde veículos para a mobilidade individual urbana, alguns estudos propõem a modelagem de veículos de carga (Lee and Thomas, 2017; Giordano, Fischbeck and Matthews, 2018).

O potencial de aquecimento global, possivelmente pela sua relevância, é a categoria de impacto utilizada como base em praticamente todas as análises do ciclo de vida de carros elétricos, enquanto as outras categorias de impacto, como a demanda de energia primária e o potencial de depleção abiótica, carecem de estudos e resultados passíveis de comparação (Marmioli *et al.*, 2018). Quando comparado o GWP obtido nesta dissertação, 105,8 gCO₂eq, com a literatura, encontram-se alguns estudos cujos resultados são similares (McCarthy and Yang, 2010; Lucas, Silva and Costa Neto, 2012; Bauer *et al.*, 2015), indicando um grau razoável de precisão para esta categoria de impacto. A Tabela 11 exhibe estudos que conduzem ACVs de veículos elétricos para servir como referência.

Tabela 11. ACVs de veículos elétricos na literatura.

Título	Autor(es)	Ano	Pais de Origem
A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles	Ma et al.	2012	Alemanha - Reino Unido
Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles e the case study of Greece	Nanaki and Koroneos	2013	Grécia
Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil	de Souza et al.,	2018	Brasil
Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain	Puig-Samper Naranjo et al.	2021	Espanha
Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States	Onat, Kucukvar and Tatari	2015	EUA - Turquia
Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs e European market analysis	Torchio and Santarelli	2010	Itália
Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies	Giordano, Fischbeck and Matthews	2018	EUA - Portugal
Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review	Hawkins, Gausen and Strømman	2012	Noruega
Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car	Pero, Delogu and Pierini	2018	Itália
Life-cycle energy consumption and greenhouse-gas emissions of hydrogen supply chains for fuel-cell vehicles in China	Ren, Zhou and Ou	2020	China
Natural resource use of gasoline, hybrid, electric and fuel cell vehicles considering land disturbances	Kosai et al.	2021	Japão
Parametric modeling approach for economic and environmental life cycle assessment of medium-duty truck electrificatio	Lee and Thomas	2017	EUA
Resource depletion in an electric vehicle powertrain using different LCA impact methods	Hernandez et al.	2017	Áustria - Bélgica
The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework	Bauer et al.	2015	Suíça

5. CONCLUSÃO

Ao elaborar um estudo focado em impactos ambientais, a principal impressão é a de que a metodologia de análise do ciclo de vida se encontra atualmente em seu patamar mais elevado quanto à relevância e número de publicações. Dadas as preocupações e esforços globais para mitigar impactos e rumar em direção à sustentabilidade, enxerga-se uma tendência de evolução nas linhas de pesquisa, principalmente naquelas focadas em avaliar alternativas aos processos e produtos com grandes impactos, como a eletrificação do setor de mobilidade urbana.

A variedade de indicadores de impacto ambiental propostos pela literatura, somada à complexidade inerente de cada um desses impactos, indica que a metodologia de análise do ciclo de vida, ao ser aplicada com diligência, é um pilar fundamental para o progresso científico no século XXI, e o processo contínuo de desenvolvimento da metodologia e dos indicadores de impacto consiste em um refinamento da metodologia em si, dos resultados obtidos ao aplicá-la, e da interpretação desses resultados.

Os resultados encontrados nesta dissertação evidenciam que a redução de impactos ambientais decorrente da eletrificação do setor de mobilidade individual urbana é considerável em todas as três categorias de impacto analisadas, sendo elas a demanda de energia primária, o potencial de aquecimento global e a o potencial de depleção abiótica. Em contrapartida, os cenários de penetração de veículos elétricos no mercado nacional ao longo das próximas décadas indica que uma baixa penetração de mercado não seria suficiente para reduzir os impactos gerados pelo setor, visto que o aumento total da frota de veículos contribui para o aumento dos impactos.

Para que o Brasil se aproxime das metas de redução de impactos almejadas, serão necessários esforços para aumentar a penetração de veículos elétricos no mercado, além de manter a matriz elétrica com alta predominância de fontes de energia com baixo impacto ambiental. Tecnicamente, é provável que a produção nacional siga as tendências dos países desenvolvidos e, portanto, o principal objetivo deve ser nacionalizar as cadeias de produção e reciclagem de baterias elétricas.

5.1. Propostas para Futuros Trabalhos

As categorias de impacto analisadas nesta dissertação foram a demanda de energia primária, o potencial de aquecimento global e o potencial de depleção abiótica. Porém, existem outras categorias que podem fazer parte de uma ACV, como o potencial de acidificação, o potencial de toxicidade humana e a mudança do uso da terra, e a análise desses outros impactos pode apontar fatores interessantes.

Dentre as diversas cadeias tecnológicas em desenvolvimento para a produção de baterias, seria interessante entender os impactos associados a cada uma delas. Há estudos que miram a comparação entre tais tecnologias, mas a análise no contexto nacional é fundamental para esclarecer as melhores alternativas da nossa sociedade em particular.

Uma vez pontuado que a taxa de penetração de veículos elétricos é um fator crucial para reduzir os impactos causados pela mobilidade urbana individual, a viabilidade comercial dos carros elétricos passa a ser o ponto-chave dessa transição tecnológica. Uma análise econômica que permita entender as perspectivas de adoção de carros elétricos em larga escala no contexto nacional pode estabelecer os níveis de penetração necessários para que hajam reduções reais nos indicadores de impacto ambiental a longo prazo, assim como os níveis de penetração necessários para se atinjam as metas oficiais.

6. REFERÊNCIAS

- Andreoni, V. and Galmarini, S. (2016) 'Drivers in CO₂ emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries', *Energy*. Elsevier Ltd, 103, pp. 27–37. doi: 10.1016/j.energy.2016.02.096.
- Andwari, A. *et al.* (2017) 'A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 78(March), pp. 414–430. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.138.
- Angelo, C. and Rittl, C. (2019) 'Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas do Brasil', *Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa*, pp. 1–33.
- Apergis, N. *et al.* (2010) 'On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth', *Ecological Economics*. Elsevier B.V., 69(11), pp. 2255–2260. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.06.014.
- Arto, I. and Dietzenbacher, E. (2014) 'Drivers of the growth in global greenhouse gas emissions', *Environmental Science and Technology*, 48(10), pp. 5388–5394. doi: 10.1021/es5005347.
- Asamer, J. *et al.* (2016) 'Sensitivity analysis for energy demand estimation of electric vehicles', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 46, pp. 182–199. doi: 10.1016/j.trd.2016.03.017.
- Aydin, C. and Esen, Ö. (2018) 'Does the level of energy intensity matter in the effect of energy consumption on the growth of transition economies? Evidence from dynamic panel threshold analysis', *Energy Economics*. Elsevier B.V., 69, pp. 185–195. doi: 10.1016/j.eneco.2017.11.010.
- Ayres, R. U. (1995) 'Life cycle analysis: A critique', *Resources, Conservation and Recycling*, 14(3–4), pp. 199–223. doi: 10.1016/0921-3449(95)00017-D.
- Ayres, R. U., Ayres, L. W. and Martínas, K. (1998) 'Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis', *Energy*, 23(5), pp. 355–363. doi: 10.1016/S0360-5442(97)00076-5.
- Bacon, R. and Kojima, M. (2009) 'Changes in CO₂ Emissions from Energy Use', (October).
- Bai, S. and Liu, C. (2021) 'Overview of energy harvesting and emission reduction technologies in hybrid electric vehicles', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 147(April), p. 111188. doi: 10.1016/j.rser.2021.111188.
- Bakker, S., Maat, K. and van Wee, B. (2014) 'Stakeholders interests, expectations, and strategies regarding the development and implementation of electric vehicles: The case of the Netherlands', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 66(1), pp. 52–64. doi: 10.1016/j.tra.2014.04.018.

- Bastida-Molina, P. *et al.* (2020) ‘Assessing transport emissions reduction while increasing electric vehicles and renewable generation levels’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88(September). doi: 10.1016/j.trd.2020.102560.
- Bauer, C. *et al.* (2015) ‘The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 157, pp. 871–883. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.019.
- Benton, M. J. and Twitchett, R. J. (2003) ‘How to kill (almost) all life: The end-Permian extinction event’, *Trends in Ecology and Evolution*, 18(7), pp. 358–365. doi: 10.1016/S0169-5347(03)00093-4.
- Beylot, A. *et al.* (2020) ‘Accounting for the dissipation of abiotic resources in LCA: Status, key challenges and potential way forward’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 157(February), p. 104748. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104748.
- Bielecki, J. (2002) ‘Energy security: Is the wolf at the door?’, *Quarterly Review of Economics and Finance*, 42(2), pp. 235–250. doi: 10.1016/S1062-9769(02)00137-0.
- Bilgili, F. *et al.* (2021) ‘The role of hydropower energy in the level of CO2 emissions: An application of continuous wavelet transform’, *Renewable Energy*, 178, pp. 283–294. doi: 10.1016/j.renene.2021.06.015.
- Biresselioglu, M. E., Kaplan, M. D. and Yilmaz, B. K. (2018) ‘Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier, 109(February), pp. 1–13. doi: 10.1016/j.tra.2018.01.017.
- Boureima, F.-S. *et al.* (2009) ‘EVS24 International Battery Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context’, 3, pp. 469–476.
- Brazil (2015) ‘Intended Nationally Determined Contribution: Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change’, *Intended Nationally Determined Contribution*, 9, p. 6. Available at: http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published Documents/Brazil/1/BRAZIL_iNDC_english_FINAL.pdf.
- Brey, J. J., Carazo, A. F. and Brey, R. (2018) ‘Exploring the marketability of fuel cell electric vehicles in terms of infrastructure and hydrogen costs in Spain’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 82(October 2017), pp. 2893–2899. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.042.
- Brown, J. H. *et al.* (2014) ‘Macroecology meets macroeconomics: Resource scarcity and global sustainability’, *Ecological Engineering*. Elsevier B.V., 65, pp. 24–32. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.07.071.
- Buchert, M. *et al.* (2011) ‘Verbundprojekt : Entwicklung eines realisierbaren Recycling-konzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi’, *Öko-Institut*

e.V., Freiburg, 1(0), pp. 1–105. Available at: <https://www.oeko.de/oekodoc/1499/2011-068-de.pdf>.

Burnham, A. *et al.* (2017) ‘Enabling fast charging – Infrastructure and economic considerations’, *Journal of Power Sources*, 367, pp. 237–249. doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.06.079.

Cabeza, L. F. *et al.* (2018) ‘Comparison of past projections of global and regional primary and final energy consumption with historical data’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 82(September 2017), pp. 681–688. doi: 10.1016/j.rser.2017.09.073.

Caferra, R., Colasante, A. and Morone, A. (2021) ‘The less you burn, the more we earn: The role of social and political trust on energy-saving behaviour in Europe’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier Ltd, 71(September 2020), p. 101812. doi: 10.1016/j.erss.2020.101812.

Calvillo, C. F., Sanchez-Miralles, A. and Villar, J. (2018) ‘Synergies of electric urban transport systems and distributed energy resources in smart cities’, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(8), pp. 2445–2453. doi: 10.1109/TITS.2017.2750401.

Campello-Vicente, H. *et al.* (2017) ‘The effect of electric vehicles on urban noise maps’, *Applied Acoustics*. Elsevier Ltd, 116, pp. 59–64. doi: 10.1016/j.apacoust.2016.09.018.

Cano, Z. P. *et al.* (2018) ‘Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets’, *Nature Energy*, 3(4), pp. 279–289. doi: 10.1038/s41560-018-0108-1.

Cansino, J. M., Sánchez-Braza, A. and Sanz-Díaz, T. (2018) ‘Policy instruments to promote electro-mobility in the EU28: A comprehensive review’, *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), pp. 1–27. doi: 10.3390/su10072507.

Capuder, T. *et al.* (2020) ‘Review of challenges and assessment of electric vehicles integration policy goals: Integrated risk analysis approach’, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. Elsevier, 119(May 2019), p. 105894. doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105894.

Chan, C. C. (2007) ‘The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles’, *Proceedings of the IEEE*, 95(4), pp. 704–718. doi: 10.1109/JPROC.2007.892489.

Chen, H. *et al.* (2014) ‘A bibliometric investigation of life cycle assessment research in the web of science databases’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(10), pp. 1674–1685. doi: 10.1007/s11367-014-0777-3.

Chen, K. *et al.* (2019) ‘Selection of lithium-ion battery technologies for electric vehicles under China’s new energy vehicle credit regulation’, *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 158, pp. 3038–3044. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.987.

Connelly, L. and Koshland, C. P. (1997) ‘Two aspects of consumption: Using an exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial

ecology', *Resources, Conservation and Recycling*, 19(3), pp. 199–217. doi: 10.1016/S0921-3449(96)01180-9.

Danino-Perraud, R. (2020) *The Recycling of Lithium-Ion Batteries: A Strategic Pillar for the European Battery Alliance*, *Études de l'Ifri*.

David, S. A. *et al.* (2020) 'Measuring the Brazilian ethanol and gasoline market efficiency using DFA-Hurst and fractal dimension', *Energy Economics*. Elsevier B.V., 85, p. 104614. doi: 10.1016/j.eneco.2019.104614.

DEKRA Consulting (2014) 'Critical Review Summary'. Available at:

https://gabi.sphera.com/uploads/media/Critical_review_by_DEKRA_2014_01.pdf.

Dharmakeerthi, C. H., Mithulananthan, N. and Saha, T. K. (2014) 'Impact of electric vehicle fast charging on power system voltage stability', *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. Elsevier Ltd, 57, pp. 241–249. doi: 10.1016/j.ijepes.2013.12.005.

Di Felice, L. J., Renner, A. and Giampietro, M. (2021) 'Why should the EU implement electric vehicles? Viewing the relationship between evidence and dominant policy solutions through the lens of complexity', *Environmental Science and Policy*. Elsevier Ltd, 123(March), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.envsci.2021.05.002.

Dincer, I. and Rosen, M. A. (2021) 'Chapter 4 - Exergy, environment, and sustainable development', pp. 61–89. doi: 10.1016/B978-0-12-824372-5.00004-X.

Dinger, A., Martin, R. and Mosquet, X. (2010) 'Batteries for Electric Cars Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020'.

Diouf, B. and Podo, R. (2015) 'Potential of lithium-ion batteries in renewable energy', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 76, pp. 375–380. doi: 10.1016/j.renene.2014.11.058.

Dominković, D. F. *et al.* (2018) 'The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 1823–1838. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.117>.

Drielsma, J. A. *et al.* (2016) 'Mineral resources in life cycle impact assessment—defining the path forward', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(1), pp. 85–105. doi: 10.1007/s11367-015-0991-7.

Drude, L., Pereira Junior, L. C. and Rütther, R. (2014) 'Photovoltaics (PV) and electric vehicle-to-grid (V2G) strategies for peak demand reduction in urban regions in Brazil in a smart grid environment', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 68, pp. 443–451. doi: 10.1016/j.renene.2014.01.049.

Ehrenberger, S. *et al.* (2021) 'Land transport development in three integrated scenarios for Germany – Technology options, energy demand and emissions', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 90(December 2020), p. 102669. doi: 10.1016/j.trd.2020.102669.

- Ehrenberger, S. I. *et al.* (2019) ‘An international dialogue about electric vehicle deployment to bring energy and greenhouse gas benefits through 2030 on a well-to-wheels basis’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 74(August), pp. 245–254. doi: 10.1016/j.trd.2019.07.027.
- Ehsani, M., Falahi, M. and Lotfifard, S. (2012) ‘Vehicle to grid services: Potential and applications’, *Energies*, 5(10), pp. 4076–4090. doi: 10.3390/en5104076.
- EPE (2016) ‘Demanda de Energia 2050 - Nota técnica DEA 13/15’, *Demanda de Energia 2050 Plano Nacional de Energia - 2050*, 1, pp. 1–257. Available at: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA 13-15 Demanda de Energia 2050.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf).
- EPE (2018) ‘Eletromobilidade e Biocombustíveis: Documento de Apoio ao PNE 2050’, *Ministério de Minas e Energia*, pp. 1–39. Available at: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Eletromobilidade e Biocombustíveis.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Eletromobilidade%20e%20Biocombustiveis.pdf).
- EPE (2019a) ‘Balanço energético nacional: Ano base 2018’, *EPE - Empresa de Pesquisa Energética*, p. 67.
- EPE (2019b) ‘Plano Decenal de Expansão de Energia’.
- Esfahani, A. N. *et al.* (2021) ‘The knowledge map of energy security’, *Energy Reports*. Elsevier Ltd, 7, pp. 3570–3589. doi: 10.1016/j.egy.2021.06.001.
- Friedrich, T. *et al.* (2016) ‘Nonlinear climate sensitivity and its implications for future greenhouse warming’, *Science Advances*, 2(11). doi: 10.1126/sciadv.1501923.
- Garche, J., Moseley, P. T. and Karden, E. (2015) *Lead-acid batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles*, *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-1-78242-377-5.00005-4.
- Gaudreau, K., Fraser, R. A. and Murphy, S. (2009) ‘The tenuous use of exergy as a measure of resource value or waste impact’, *Sustainability*, 1(4), pp. 1444–1463. doi: 10.3390/su1041444.
- Gaurav, G. *et al.* (2021) ‘Recent progress of scientific research on life cycle assessment’, *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd, (xxxx). doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.208.
- Giordano, A., Fischbeck, P. and Matthews, H. S. (2018) ‘Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 64(November 2016), pp. 216–229. doi: 10.1016/j.trd.2017.10.003.
- Goes, G. V. *et al.* (2020) ‘Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments’, *Renewable Energy*, 157, pp. 303–311. doi: 10.1016/j.renene.2020.05.032.

- Granovskii, M., Dincer, I. and Rosen, M. A. (2006) 'Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles', *Journal of Power Sources*, 159(2), pp. 1186–1193. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.11.086.
- Guarnieri, M. (2011) 'When cars went electric, Part 2', *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(2), pp. 61–62. doi: 10.1109/MIE.2011.941122.
- Guevara, Z., Henriques, S. T. and Sousa, T. (2021) 'Driving factors of differences in primary energy intensities of 14 European countries', *Energy Policy*, 149(December 2020). doi: 10.1016/j.enpol.2020.112090.
- Guinée, J., Heijungs, R. and Huppes, G. (2011) 'Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future', 11(1), pp. 29–42.
- Gustavsson, L. *et al.* (1995) 'Reducing CO₂ emissions by substituting biomass for fossil fuels', *Energy*, 20(11), pp. 1097–1113. doi: 10.1016/0360-5442(95)00065-O.
- Haddadian, G., Khodayar, M. and Shahidehpour, M. (2015) 'Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers', *Electricity Journal*. Elsevier Inc., 28(10), pp. 53–68. doi: 10.1016/j.tej.2015.11.011.
- Hafele, W. A., Anderer, J. and Nakicenovic, N. (1981) *Energy in a finite world: paths to a sustainable future.*, (Ballinger for the IIASA; distributed Harper & Row). doi: 10.2307/3324135.
- Haley, B. (2015) 'Low-carbon innovation from a hydroelectric base: The case of electric vehicles in Québec', *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Elsevier B.V., 14, pp. 5–25. doi: 10.1016/j.eist.2014.05.003.
- Hamels, S. *et al.* (2021) 'The use of primary energy factors and CO₂ intensities for electricity in the European context - A systematic methodological review and critical evaluation of the contemporary literature', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 146(May), p. 111182. doi: 10.1016/j.rser.2021.111182.
- Hannan, M. A. *et al.* (2018) 'State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations', *IEEE Access*. IEEE, 6, pp. 19362–19378. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817655.
- Hauschild, M. Z. *et al.* (2013) 'Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), pp. 683–697. doi: 10.1007/s11367-012-0489-5.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K. and Olsen, S. I. (2017) *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*, *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. doi: 10.1007/978-3-319-56475-3.
- Hawkins, T. R., Gausen, O. M. and Strømman, A. H. (2012) 'Environmental impacts of hybrid and electric vehicles-a review', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), pp. 997–1014. doi: 10.1007/s11367-012-0440-9.

- Hawkins, T. R. *et al.* (2013) ‘Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles’, *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), pp. 53–64. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x.
- He, F. *et al.* (2013) ‘Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles’, *Transportation Research Part B: Methodological*, 47(2013), pp. 87–101. doi: 10.1016/j.trb.2012.09.007.
- Henriques, S. T. and Borowiecki, K. J. (2017) ‘The drivers of long-run CO2 emissions in Europe, North America and Japan since 1800’, *Energy Policy*, 101(September 2016), pp. 537–549. doi: 10.1016/j.enpol.2016.11.005.
- Hepbasli, A. (2008) ‘A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), pp. 593–661. doi: 10.1016/j.rser.2006.10.001.
- Hernandez, A. G. and Cullen, J. M. (2019) ‘Exergy: A universal metric for measuring resource efficiency to address industrial decarbonisation’, *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 20, pp. 151–164. doi: 10.1016/j.spc.2019.05.006.
- Hernandez, M. *et al.* (2017) ‘Resource depletion in an electric vehicle powertrain using different LCA impact methods’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 120, pp. 119–130. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.11.005.
- Heun, M. K. and Brockway, P. E. (2019) ‘Meeting 2030 primary energy and economic growth goals: Mission impossible?’, *Applied Energy*. Elsevier, 251(January), p. 112697. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.255.
- Holden, E. *et al.* (2020) ‘Grand Narratives for sustainable mobility: A conceptual review’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 65(January), p. 101454. doi: 10.1016/j.erss.2020.101454.
- Høyer, K. G. (2008) ‘The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars’, *Utilities Policy*, 16(2), pp. 63–71. doi: 10.1016/j.jup.2007.11.001.
- Huang, B. N., Hwang, M. J. and Yang, C. W. (2008) ‘Does more energy consumption bolster economic growth? An application of the nonlinear threshold regression model’, *Energy Policy*, 36(2), pp. 755–767. doi: 10.1016/j.enpol.2007.10.023.
- Huang, M. T. and Zhai, P. M. (2021) ‘Achieving Paris Agreement temperature goals requires carbon neutrality by middle century with far-reaching transitions in the whole society’, *Advances in Climate Change Research*. Elsevier Ltd, 12(2), pp. 281–286. doi: 10.1016/j.accre.2021.03.004.
- Hunt, R. and Franklin, W. (1996) ‘LCA- How it Came About - Personal Reflections of the Origin and the Development of LCA in the USA’.

- Ibrahim, A. and Jiang, F. (2021) ‘The electric vehicle energy management: An overview of the energy system and related modeling and simulation’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 144(April), p. 111049. doi: 10.1016/j.rser.2021.111049.
- IEA (2018) ‘World Energy Outlook 2018: Highlights’, *International Energy Agency*, 1, pp. 1–661. Available at: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2018/executive-summary_weo-2018-2-en.
- IEA (2020) ‘CO2 Emissions from Fuel Combustion’, *CO2 Emissions from fuel combustion dataset*.
- IEA (2021) ‘Global EV Outlook 2021 - Accelerating ambitions despite the pandemic’, *Global EV Outlook 2021*.
- ILCD (2011) *ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*.
- International Standard Organisation (1997) ‘Environmental assessment - Principles and framework’, *ISO 14040*, 1997. Available at: <https://www.iso.org/standard/23151.html>.
- IPCC (1990) ‘Climate Change: The IPCC Scientific Assessment’.
- IPCC (2014) *Climate change 2014 : Mitigation of climate change - Working Group III contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. doi: 10.1017/CBO9781107415416.
- IRENA (2020) *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*, International Renewable Energy Agency. Available at: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>.
- ISO, 2006a. International Standard ISO 14040 (2006) Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principle and Framework; available at <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- ISO, 2006b. ISO 14044:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, 2010; available at <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- Jabbour, J. and Flachsland, C. (2017) ‘40 years of global environmental assessments: A retrospective analysis’, *Environmental Science and Policy*. Elsevier, 77(April), pp. 193–202. doi: 10.1016/j.envsci.2017.05.001.
- Ji, Z. and Huang, X. (2018) ‘Plug-in electric vehicle charging infrastructure deployment of China towards 2020: Policies, methodologies, and challenges’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 90(January 2017), pp. 710–727. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.011.
- Jia, L. *et al.* (2014) ‘A novel approach for urban electric vehicle charging facility planning considering combination of slow and fast charging’, *POWERCON 2014 - 2014 International Conference on Power System Technology: Towards Green, Efficient and Smart Power System, Proceedings*, (Powercon), pp. 3354–3360. doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993928.

- Jianghuai Automobile Co. Ltda (2020a) ‘Manual JAC IEV40’.
- Jianghuai Automobile Co. Ltda (2020b) ‘Manual JAC T40’.
- Jreige, M., Abou-Zeid, M. and Kaysi, I. (2021) ‘Consumer preferences for hybrid and electric vehicles and deployment of the charging infrastructure: A case study of Lebanon’, *Case Studies on Transport Policy*. Elsevier Ltd, 9(2), pp. 466–476. doi: 10.1016/j.cstp.2021.02.002.
- Kamrul, M. *et al.* (2021) ‘Review of electric vehicle energy storage and management system : Standards , issues , and challenges’, *Journal of Energy Storage*. Elsevier Ltd, 41(July), p. 102940. doi: 10.1016/j.est.2021.102940.
- Kestin, J. (1980) ‘Availability: The concept and associated terminology’, *Energy*, 5(8–9), pp. 679–692. doi: 10.1016/0360-5442(80)90088-2.
- Kim, J. D. and Rahimi, M. (2014) ‘Future energy loads for a large-scale adoption of electric vehicles in the city of Los Angeles: Impacts on greenhouse gas (GHG) emissions’, *Energy Policy*. Elsevier, 73(2014), pp. 620–630. doi: 10.1016/j.enpol.2014.06.004.
- Kittner, N. *et al.* (2019) *Electric vehicles, Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System: Conceptual Issues, Empirical Findings, and Use, in Energy Modeling*. INC. doi: 10.1016/B978-0-12-818762-3.00009-1.
- Klinglmair, M., Sala, S. and Brandão, M. (2014) ‘Assessing resource depletion in LCA: A review of methods and methodological issues’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), pp. 580–592. doi: 10.1007/s11367-013-0650-9.
- Kosai, S. *et al.* (2021) ‘Natural resource use of gasoline, hybrid, electric and fuel cell vehicles considering land disturbances’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 166(May 2020), p. 105256. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105256.
- Kotas, T. J. (1985) ‘Basic exergy concepts’, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, pp. 29–56. doi: 10.1016/b978-0-408-01350-5.50009-x.
- Kounina, A. *et al.* (2013) ‘Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), pp. 707–721. doi: 10.1007/s11367-012-0519-3.
- Krausmann, F. *et al.* (2018) ‘From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015’, *Global Environmental Change*, 52(April), pp. 131–140. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003.
- Kumar, R. R. and Alok, K. (2020) ‘Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 253, p. 119911. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119911.
- Kupfer, T. *et al.* (2017) ‘GaBi database and modelling principles 2017’, (January), pp. 1–194. Available at: http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi_Databases/GaBi_Modelling_Principles_2017.pdf.

- Lam, A. Y. S., Leung, Y. W. and Chu, X. (2014) 'Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions', *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(6), pp. 2846–2856. doi: 10.1109/TSG.2014.2344684.
- Lee, C. C. and Chang, C. P. (2007) 'The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan', *Energy*, 32(12), pp. 2282–2294. doi: 10.1016/j.energy.2006.01.017.
- Lee, D. Y. and Thomas, V. M. (2017) 'Parametric modeling approach for economic and environmental life cycle assessment of medium-duty truck electrification', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 142, pp. 3300–3321. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.139.
- Lenton, T. M. *et al.* (2008) 'Tipping elements in the Earth's climate system', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(6), pp. 1786–1793. doi: 10.1073/pnas.0705414105.
- Li, J. *et al.* (2021) 'Life cycle cost of conventional, battery electric, and fuel cell electric vehicles considering traffic and environmental policies in China', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 46(14), pp. 9553–9566. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.12.100.
- Liao, F., Molin, E. and van Wee, B. (2017) 'Consumer preferences for electric vehicles: a literature review', *Transport Reviews*, 37(3), pp. 252–275. doi: 10.1080/01441647.2016.1230794.
- Lin, W. Y. *et al.* (2020) 'Analysis of air quality and health co-benefits regarding electric vehicle promotion coupled with power plant emissions', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 247, p. 119152. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119152.
- Logan, K. G. *et al.* (2020) 'UK and China: Will electric vehicle integration meet Paris agreement targets?', *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8. doi: 10.1016/j.trip.2020.100245.
- Longati, A. A., Batista, G. and Cruz, A. J. G. (2020) 'Brazilian integrated sugarcane-soybean biorefinery: Trends and opportunities', *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. Elsevier B.V., 26, p. 100400. doi: 10.1016/j.cogsc.2020.100400.
- Lucas, A., Silva, C. A. and Costa Neto, R. (2012) 'Life cycle analysis of energy supply infrastructure for conventional and electric vehicles', *Energy Policy*. Elsevier, 41, pp. 537–547. doi: 10.1016/j.enpol.2011.11.015.
- Ma, H. *et al.* (2012) 'A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles', *Energy Policy*. Elsevier, 44, pp. 160–173. doi: 10.1016/j.enpol.2012.01.034.
- Madina, C., Zamora, I. and Zabala, E. (2016) 'Methodology for assessing electric vehicle charging infrastructure business models', *Energy Policy*. Elsevier, 89, pp. 284–293. doi: 10.1016/j.enpol.2015.12.007.

- Mandys, F. (2021) 'Electric vehicles and consumer choices', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 142(July 2020), p. 110874. doi: 10.1016/j.rser.2021.110874.
- Manzetti, S. and Mariasiu, F. (2015) 'Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 51, pp. 1004–1012. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.010.
- Marmioli, B. *et al.* (2018) 'Electricity generation in LCA of electric vehicles: A review', *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(8). doi: 10.3390/app8081384.
- McCarthy, R. and Yang, C. (2010) 'Determining marginal electricity for near-term plug-in and fuel cell vehicle demands in California: Impacts on vehicle greenhouse gas emissions', *Journal of Power Sources*, 195(7), pp. 2099–2109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.10.024>.
- Medina, H. V. de and Gomes, D. E. B. (2003) *Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas*.
- Moran, M. J. and Sciubba, E. (1994) 'Exergy analysis: Principles and practice', *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 116(2), pp. 285–290. doi: 10.1115/1.2906818.
- Mundaca, L., Markandya, A. and Nørgaard, J. (2013) 'Walking away from a low-carbon economy? Recent and historical trends using a regional decomposition analysis', *Energy Policy*. Elsevier, 61, pp. 1471–1480. doi: 10.1016/j.enpol.2013.04.083.
- Muratori, M. *et al.* (2013) 'Highly-resolved modeling of personal transportation energy consumption in the United States', *Energy*. Elsevier Ltd, 58, pp. 168–177. doi: 10.1016/j.energy.2013.02.055.
- Nadaleti, W. C., dos Santos, G. B. and Lourenço, V. A. (2020) 'Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy', *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(46), pp. 24190–24202. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.06.226.
- Nanaki, E. A. and Koroneos, C. J. (2013) 'Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles - The case study of Greece', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 53, pp. 261–266. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.04.010.
- Newbery, D. and Strbac, G. (2016) 'What is needed for battery electric vehicles to become socially cost competitive?', *Economics of Transportation*. Elsevier, 5, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.ecotra.2015.09.002.
- Nordelöf, A. *et al.* (2014) 'Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), pp. 1866–1890. doi: 10.1007/s11367-014-0788-0.
- Nykvist, B., Sprei, F. and Nilsson, M. (2019) 'Assessing the progress toward lower priced long range battery electric vehicles', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 124(October 2018), pp. 144–155. doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.035.

- van Oers, L. and Guinée, J. (2016) ‘The abiotic depletion potential: Background, updates, and future’, *Resources*, 5(1). doi: 10.3390/resources5010016.
- Omar, N. *et al.* (2014) *Analysis of Nickel-Based Battery Technologies for Hybrid and Electric Vehicles, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/b978-0-12-409547-2.10740-1.
- Onat, N. C., Kucukvar, M. and Tatari, O. (2015) ‘Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 150, pp. 36–49. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.001.
- Offer, G. J. *et al.* (2011) ‘Techno-economic and behavioral analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system in the UK’, *Energy Policy*, 39(4), pp. 1939–1950. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.006>.
- Orsi, F. *et al.* (2016) ‘A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions: Primary energy consumption, CO2 emissions, and economic cost’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 169, pp. 197–209. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.039.
- Özbuğday, F. C. and Erbas, B. C. (2015) ‘How effective are energy efficiency and renewable energy in curbing CO2 emissions in the long run? A heterogeneous panel data analysis’, *Energy*, 82, pp. 734–745. doi: 10.1016/j.energy.2015.01.084.
- Paris Agreement, 2015. Conference of the Parties, Adoption of the Paris Agreement, Dec. 12, 2015. U.N. Doc. FCCC/CP/2015/L.9/Rev/1 (Dec. 12, 2015); <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
- Parlamento Europeu (2018) ‘Diretiva 2018/2002’, *Jornal Oficial da União Europeia*, 2018, pp. 210–230. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>.
- Pehlken, A., Albach, S. and Vogt, T. (2017) ‘Is there a resource constraint related to lithium ion batteries in cars?’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(1), pp. 40–53. doi: 10.1007/s11367-015-0925-4.
- Pennington, D. W. *et al.* (2004) ‘Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice’, *Environment International*, 30(5), pp. 721–739. doi: 10.1016/j.envint.2003.12.009.
- Pereira Jr., A. . and Castro, G. (2018) ‘Projeto IES – Brasil 2050 Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE no Brasil até 2050’.
- Pero, F. Del, Delogu, M. and Pierini, M. (2018) ‘Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car’, *Procedia Structural Integrity*. Elsevier B.V., 12, pp. 521–537. doi: 10.1016/j.prostr.2018.11.066.
- Pollet, B. G., Staffell, I. and Shang, J. L. (2012) ‘Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects’, *Electrochimica Acta*. Elsevier Ltd, 84, pp. 235–249. doi: 10.1016/j.electacta.2012.03.172.

- Ponsioen, T. C., Vieira, M. D. M. and Goedkoop, M. J. (2014) 'Surplus cost as a life cycle impact indicator for fossil resource scarcity', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(4), pp. 872–881. doi: 10.1007/s11367-013-0676-z.
- Postal, A. M. *et al.* (2020) 'The impact of sugarcane expansion in Brazil: Local stakeholders' perceptions', *Journal of Rural Studies*. Elsevier, 73(October 2019), pp. 147–162. doi: 10.1016/j.jrurstud.2019.10.041.
- Pregger, T. *et al.* (2020) 'Renewable Synthetic Fuels', *Energies*, 13(138), pp. 1–36.
- Puig-Samper Naranjo, G. *et al.* (2021) 'Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 291, p. 125883. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125883.
- Raugei, M. *et al.* (2015) 'A coherent life cycle assessment of a range of lightweighting strategies for compact vehicles', *Journal of Cleaner Production*, 108, pp. 1168–1176. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.100.
- Raupach, M. R. *et al.* (2007) 'Global and regional drivers of accelerating CO2 emissions', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(24), pp. 10288–10293. doi: 10.1073/pnas.0700609104.
- Reap, J. *et al.* (2008a) 'A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: Goal and scope and inventory analysis', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(4), pp. 290–300. doi: 10.1007/s11367-008-0008-x.
- Reap, J. *et al.* (2008b) 'A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: Impact assessment and interpretation', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(5), pp. 374–388. doi: 10.1007/s11367-008-0009-9.
- Rebitzer, G. *et al.* (2004) 'Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications', *Environment International*, 30(5), pp. 701–720. doi: 10.1016/j.envint.2003.11.005.
- Reistad, G. M. and Arbor, A. (1970) 'Availability: Concepts and Applications'.
- Ren, L., Zhou, S. and Ou, X. (2020) 'Life-cycle energy consumption and greenhouse-gas emissions of hydrogen supply chains for fuel-cell vehicles in China', *Energy*. Elsevier Ltd, 209, p. 118482. doi: 10.1016/j.energy.2020.118482.
- REN21 (2017) *Renewable Global Futures Report - Great Debate Towards 100% Renewable Energy*.
- Rezvani, Z., Jansson, J. and Bodin, J. (2015) 'Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 34, pp. 122–136. doi: 10.1016/j.trd.2014.10.010.
- Rietmann, N., Hügler, B. and Lieven, T. (2020) 'Forecasting the trajectory of electric vehicle sales and the consequences for worldwide CO2 emissions', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 261, p. 121038. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121038.

- Rocco, M. V. (2016) ‘Accounting for energy-resources use by thermodynamics’, *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, 2016(1), pp. 43–60. doi: 10.1007/978-3-319-43656-2_3.
- Rocha, M. H. *et al.* (2014) ‘Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: A meta-analysis’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, pp. 435–459. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.036.
- Romejko, K. and Nakano, M. (2017) ‘Portfolio analysis of alternative fuel vehicles considering technological advancement, energy security and policy’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 142, pp. 39–49. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.029.
- Rosen, M. A. and Bulucea, C. A. (2009) ‘Using exergy to understand and improve the efficiency of electrical power technologies’, *Entropy*, 11(4), pp. 820–835. doi: 10.3390/e11040820.
- Rosen, M. A. and Dincer, I. (1997) ‘On exergy and environmental impact’, *International Journal of Energy Research*, 21(7), pp. 643–654. doi: 10.1002/(SICI)1099-114X(19970610)21:7<643::AID-ER284>3.0.CO;2-I.
- Rosen, M. A. and Dincer, I. (1999) ‘Exergy analysis of waste emissions’, *International Journal of Energy Research*, 23(13), pp. 1153–1163. doi: 10.1002/(SICI)1099-114X(19991025)23:13<1153::AID-ER545>3.0.CO;2-Y.
- Sadek, N. (2012) ‘Urban electric vehicles: A contemporary business case’, *European Transport Research Review*, 4(1), pp. 27–37. doi: 10.1007/s12544-011-0061-6.
- Schneider, L. *et al.* (2014) ‘The economic resource scarcity potential (ESP) for evaluating resource use based on life cycle assessment’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), pp. 601–610. doi: 10.1007/s11367-013-0666-1.
- Schneider, L., Berger, M. and Finkbeiner, M. (2015) ‘Abiotic resource depletion in LCA—background and update of the anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) model’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(5), pp. 709–721. doi: 10.1007/s11367-015-0864-0.
- Schulze, R. *et al.* (2020a) ‘Abiotic resource use in life cycle impact assessment—Part I—towards a common perspective’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 154(February 2019), p. 104596. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104596.
- Schulze, R. *et al.* (2020b) ‘Abiotic resource use in life cycle impact assessment—Part II – Linking perspectives and modelling concepts’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 155(January 2019), p. 104595. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104595.
- Schuster, S. F. *et al.* (2015) ‘Lithium-ion cell-to-cell variation during battery electric vehicle operation’, *Journal of Power Sources*. Elsevier B.V, 297, pp. 242–251. doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.08.001.

- Scrosati, B. and Garche, J. (2010) 'Lithium batteries: Status, prospects and future', *Journal of Power Sources*, 195(9), pp. 2419–2430. doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.11.048.
- Seager, T. P. and Theis, T. L. (2002) 'A uniform definition and quantitative basis for industrial ecology', *Journal of Cleaner Production*, 10(3), pp. 225–235. doi: 10.1016/S0959-6526(01)00040-3.
- SETAC (1993) 'Guidelines for Life-Cycle Impact Assessment: " Code of Practice "', (April).
- Shahsavari, A. and Akbari, M. (2018) 'Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 90(April), pp. 275–291. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.065.
- Shareef, H., Islam, M. M. and Mohamed, A. (2016) 'A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 64, pp. 403–420. doi: 10.1016/j.rser.2016.06.033.
- Shikida, P. F. A. and Perosa, B. B. (2012) 'Álcool Combustível no Brasil e Path Dependence', *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 50(2), pp. 243–262. doi: 10.1590/S0103-20032012000200003.
- Sierzchula, W. *et al.* (2014) 'The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption', *Energy Policy*. Elsevier, 68, pp. 183–194. doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.043.
- Silva, S., Soares, I. and Afonso, O. (2013) 'Economic and environmental effects under resource scarcity and substitution between renewable and non-renewable resources', *Energy Policy*. Elsevier, 54, pp. 113–124. doi: 10.1016/j.enpol.2012.10.069.
- Sindipeças (2020) 'Relatório da Frota Circulante 2020', *Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – Sindipeças Associação Brasileira da Indústria de Autopeças – Abipeças*, p. 13.
- Sioshansi, R. and Miller, J. (2011) 'Plug-in hybrid electric vehicles can be clean and economical in dirty power systems', *Energy Policy*. Elsevier, 39(10), pp. 6151–6161. doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.015.
- Sonderregger, T. *et al.* (2017) 'Towards harmonizing natural resources as an area of protection in life cycle impact assessment', *International Journal of Life Cycle Assessment*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22(12), pp. 1912–1927. doi: 10.1007/s11367-017-1297-8.
- Song, G. *et al.* (2012) 'A unified correlation for estimating specific chemical exergy of solid and liquid fuels', *Energy*, 40(1), pp. 164–173. doi: 10.1016/j.energy.2012.02.016.
- de Souza, L. L. P. *et al.* (2018) 'Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil', *Journal of Cleaner Production*, 203, pp. 444–468. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.236.

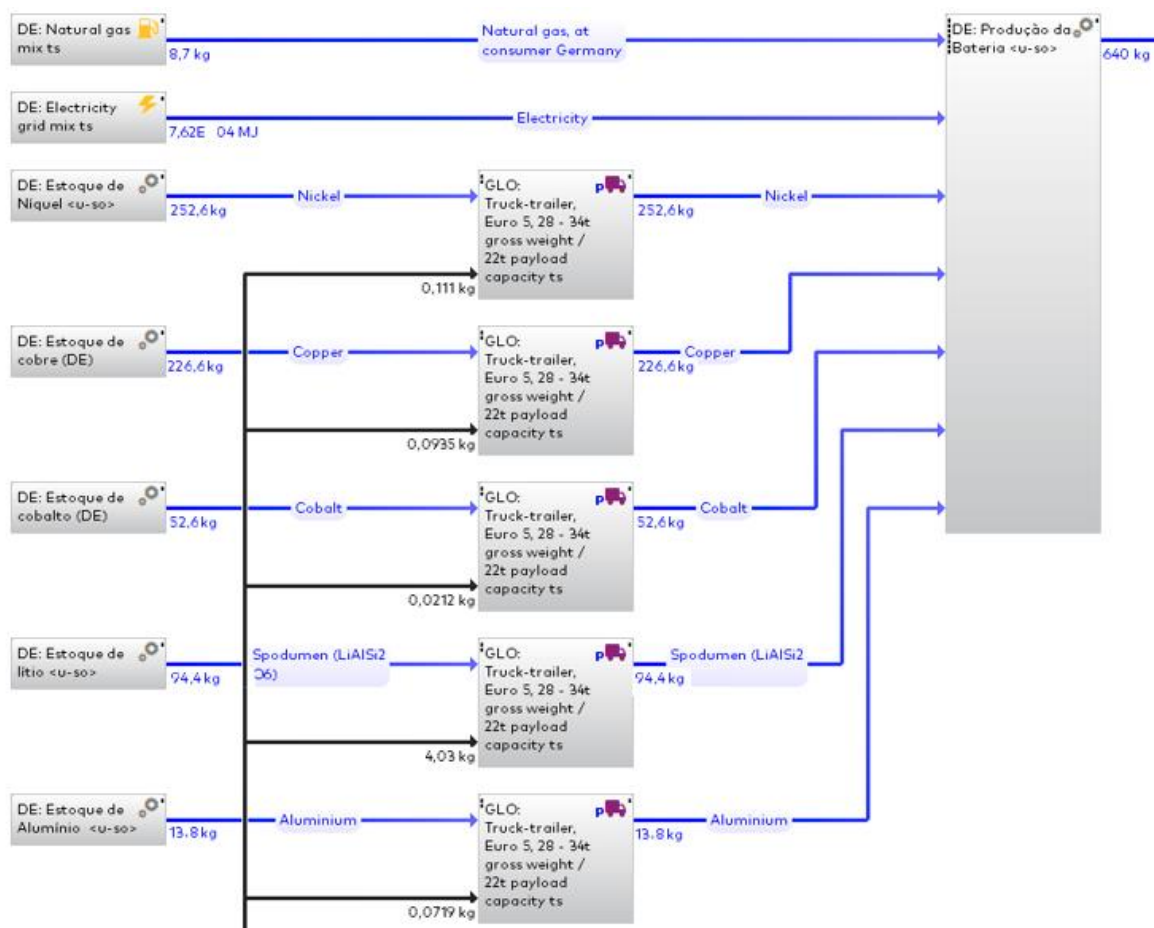
- Staffell, I. *et al.* (2019) ‘The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system’, *Energy and Environmental Science*. Royal Society of Chemistry, 12(2), pp. 463–491. doi: 10.1039/c8ee01157e.
- Steen, B. A. (2006) ‘Abiotic Resource Depletion: Different perceptions of the problem with mineral deposits’, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(SPEC. ISS. 1), pp. 49–54. doi: 10.1065/lca2006.01.237.
- Suh, S. (2009) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*.
- Sun, X. *et al.* (2020) ‘Life cycle assessment of lithium nickel cobalt manganese oxide (NCM) batteries for electric passenger vehicles’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 273, p. 123006. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123006.
- Swain, B. (2017) ‘Recovery and recycling of lithium: A review’, *Separation and Purification Technology*. Elsevier B.V., 172, pp. 388–403. doi: 10.1016/j.seppur.2016.08.031.
- Swart, P. and Dewulf, J. (2013) ‘Quantifying the impacts of primary metal resource use in life cycle assessment based on recent mining data’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 73, pp. 180–187. doi: 10.1016/j.resconrec.2013.02.007.
- Tajudeen, I. A., Wossink, A. and Banerjee, P. (2018) ‘How significant is energy efficiency to mitigate CO2 emissions? Evidence from OECD countries’, *Energy Economics*, 72, pp. 200–221. doi: 10.1016/j.eneco.2018.04.010.
- Torchio, M. F. and Santarelli, M. G. (2010) ‘Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs - European market analysis’, *Energy*. Elsevier Ltd, 35(10), pp. 4156–4171. doi: 10.1016/j.energy.2010.06.037.
- Tran, M. *et al.* (2012) ‘Realizing the electric-vehicle revolution’, *Nature Climate Change*. Nature Publishing Group, 2(5), pp. 328–333. doi: 10.1038/nclimate1429.
- Tran, D. D. *et al.* (2020) ‘Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 119, p. 109596. doi: 10.1016/j.rser.2019.109596.
- Tribus, M. and McIrvine, E. (1971) ‘Energy and Information’, *Scientific American*, 214(2), pp. 82–91. Available at: <https://www.jstor.org/stable/24995913>.
- Tseng, H. K., Wu, J. S. and Liu, X. (2013) ‘Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis’, *Energy Policy*, 61, pp. 441–447. doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.026.
- Udo de Haes, H. *et al.* (1999) ‘Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment’, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(3), pp. 167–174. doi: 10.1007/bf02979453.
- U.K. Government (2021) ‘26th Climate Change Conference of the Parties (COP26)’, (November), pp. 26–28.

- U.S. Department of State (2021) 'Leaders Summit on Climate: Day 1', (November), pp. 1–8.
- Umicore (2020) 'Our recycling process', pp. 3–5.
- Vidal Legaz, B. *et al.* (2017) 'Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models', *Journal of Cleaner Production*, 140, pp. 502–515. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.077.
- Vieira, M. D. M. *et al.* (2016) 'Surplus cost potential as a life cycle impact indicator for metal extraction', *Resources*, 5(1), pp. 9–14. doi: 10.3390/resources5010002.
- Wang, Q. and DeLuchi, M. A. (1992) 'Impacts of electric vehicles on primary energy consumption and petroleum displacement', *Energy*, 17(4), pp. 351–366. doi: 10.1016/0360-5442(92)90110-L.
- Wirges, J. (2016) *Planning the Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Cities and Regions*.
- Wolbertus, R. *et al.* (2018) 'Policy effects on charging behaviour of electric vehicle owners and on purchase intentions of prospective owners: Natural and stated choice experiments', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 62(March 2018), pp. 283–297. doi: 10.1016/j.trd.2018.03.012.
- Yazdanie, M. *et al.* (2014) 'A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for the operation of alternative and conventional vehicles in Switzerland, considering various energy carrier production pathways', *Journal of Power Sources*, 249, pp. 333–348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.043>.
- Yin, R., Hu, S. and Yang, Y. (2019) 'Life cycle inventories of the commonly used materials for lithium-ion batteries in China', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 227, pp. 960–971. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.186.
- Yong, J. Y. *et al.* (2015) 'A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 49, pp. 365–385. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.130.
- Zimm, C. (2021) 'Improving the understanding of electric vehicle technology and policy diffusion across countries', *Transport Policy*. Elsevier Ltd, 105, pp. 54–66. doi: 10.1016/j.tranpol.2020.12.012.
- Zubaryeva, A. *et al.* (2012) 'Assessing factors for the identification of potential lead markets for electrified vehicles in Europe: Expert opinion elicitation', *Technological Forecasting and Social Change*. Elsevier Inc., 79(9), pp. 1622–1637. doi: 10.1016/j.techfore.2012.06.004.

7. ANEXOS

A – Fluxogramas de Processos

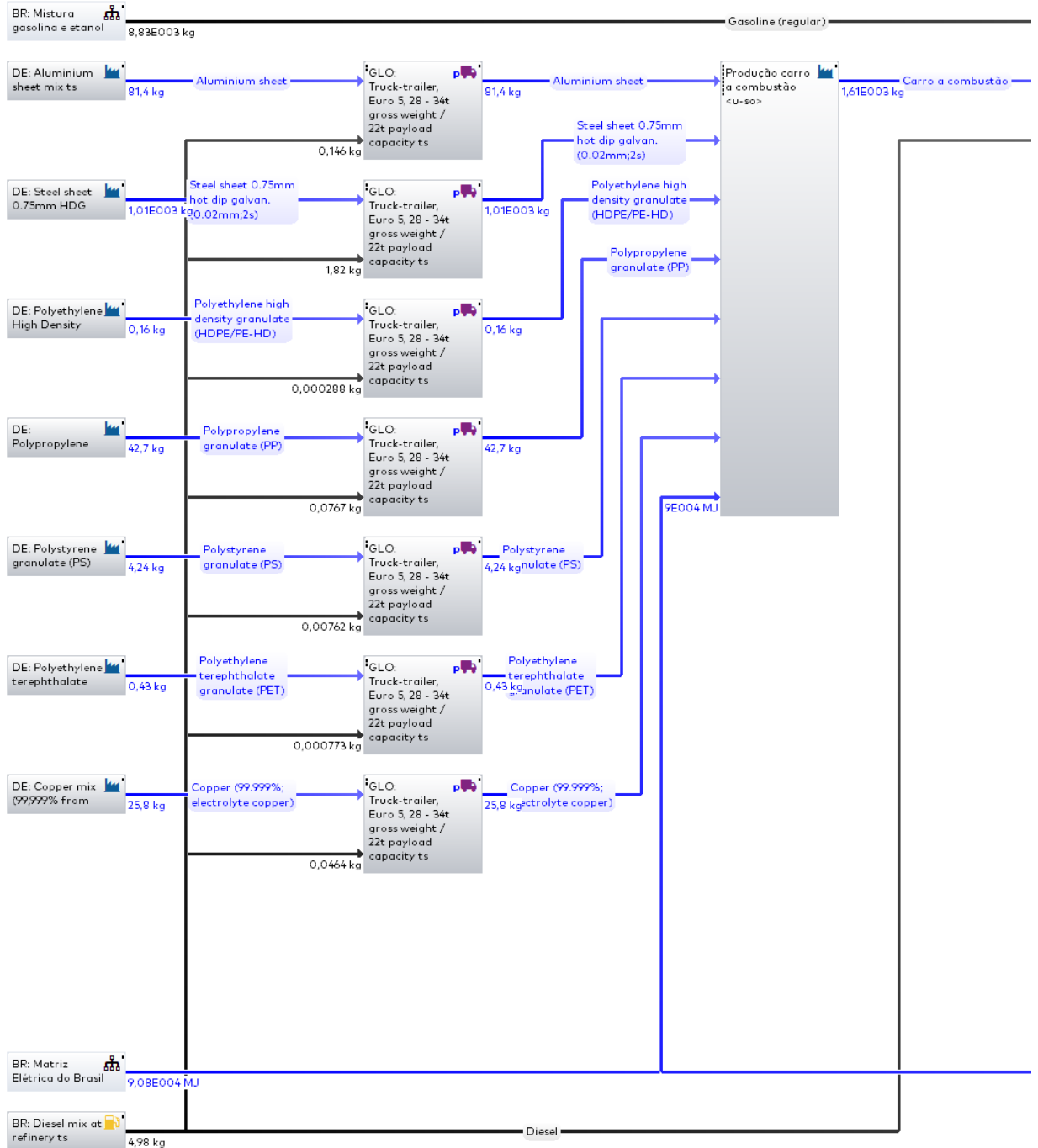
A.1 - Produção da Bateria Elétrica



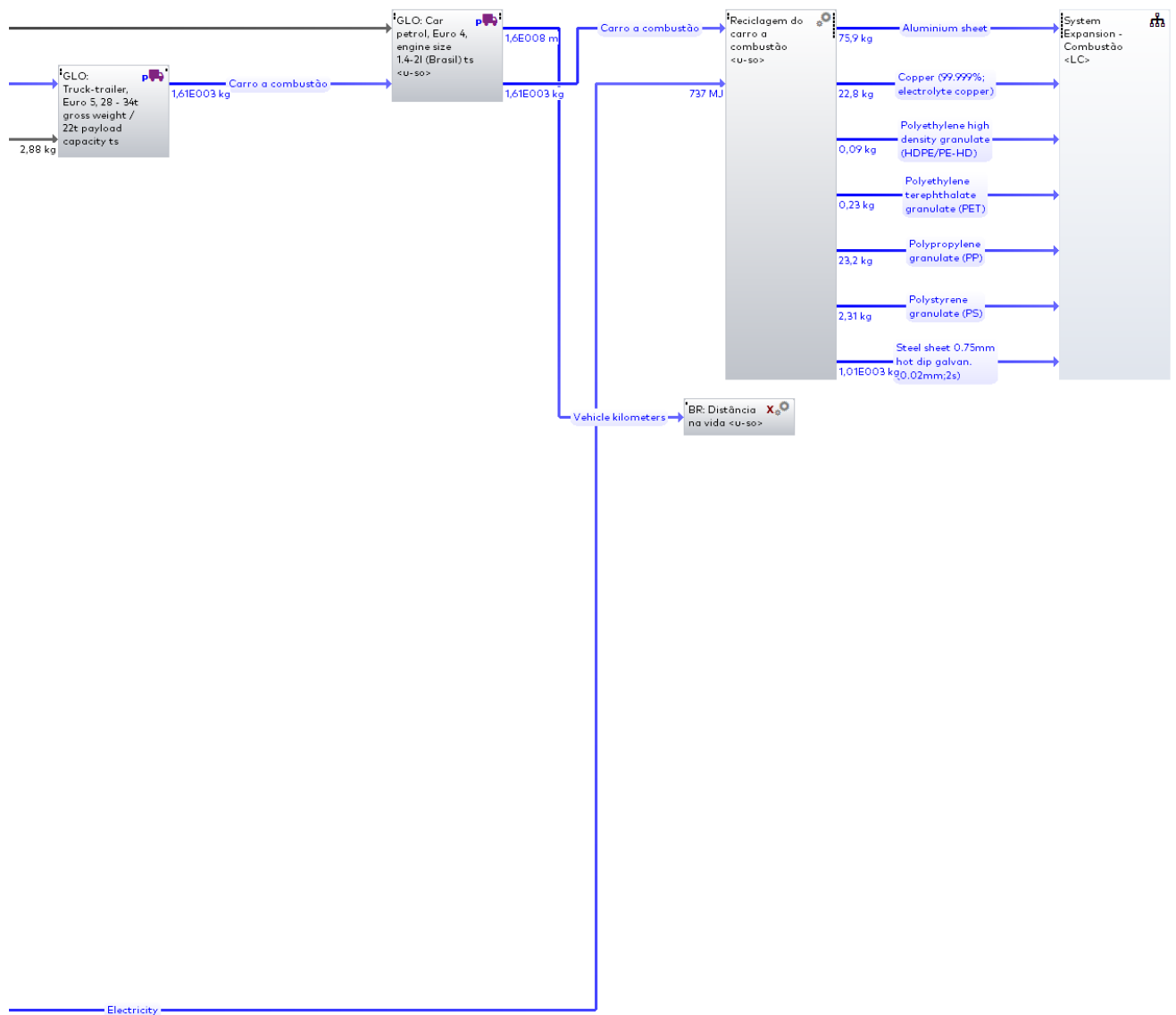
A.2 – Produção do Carro à Combustão (Parte 1)

Carro a combustão (gasolina)

Plano de processo GaBi/Quantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.



A.2 – Produção do Carro à Combustão (Parte 2)



A.3 – Expansão do Sistema - Combustão

System Expansion - Combustão

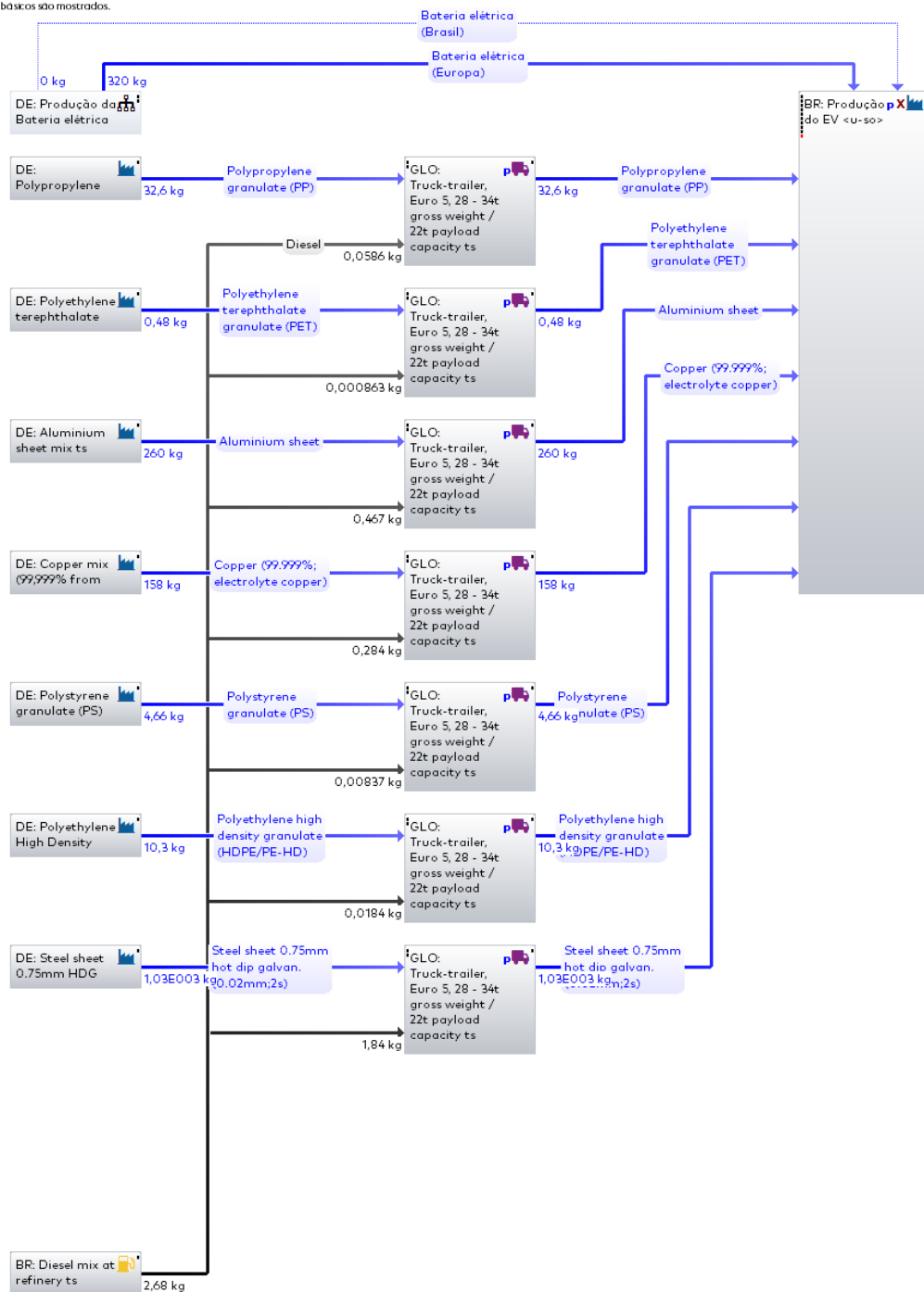
Plano de processo CoBi: Mass (kg)
 Os nomes dos processos bi-steps são mostrados.



A.4 – Produção do Carro Elétrico

Produção do Carro elétrico

Plano de processo GoBrQuantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.



B – Exemplo de Inventário

Fluxos de Entrada “BR: Electricity grid mix ts”

Flows	Quantities	Amount	Units
From shrub land [Transformation]	Area	8,28E-08	sqm
From permanent crops, non-irrigated, extensive (regionalized, RU) [Transformation]	Area	2,43E-09	sqm
From permanent crops, non-irrigated, extensive (regionalized, RO) [Transformation]	Area	3,32E-10	sqm
From permanent crops, non-irrigated, extensive [Transformation]	Area	4,55E-27	sqm
From shrub land (regionalized, GR) [Transformation]	Area	4,14E-10	sqm
From shrub land (regionalized, BA) [Transformation]	Area	3,60E-11	sqm
From shrub land (regionalized, AU) [Transformation]	Area	2,71E-09	sqm
From shrub land (regionalized, AR) [Transformation]	Area	4,41E-09	sqm
From permanent crops (regionalized, MY) [Transformation]	Area	1,32E-05	sqm
From grassland/pasture/meadow (regionalized, ES) [Transformation]	Area	9,12E-11	sqm
From grassland/pasture/meadow (regionalized, DE) [Transformation]	Area	7,51E-10	sqm
From grassland/pasture/meadow (regionalized, CN) [Transformation]	Area	8,16E-09	sqm
From grassland/pasture/meadow (regionalized, CL) [Transformation]	Area	6,12E-10	sqm
From permanent crops (regionalized, ES) [Transformation]	Area	3,71E-10	sqm
From permanent crops (regionalized, BR) [Transformation]	Area	0,011950628	sqm
From permanent crops [Transformation]	Area	3,87E-09	sqm
From grassland/pasture/meadow (regionalized, KZ) [Transformation]	Area	4,69E-12	sqm
To unspecified, natural [Transformation]	Area	0,000136975	sqm
From wetlands [Transformation]	Area	2,01E-08	sqm
From unspecified, natural (regionalized, MX) [Transformation]	Area	6,60E-12	sqm
From unspecified, natural (regionalized, CL) [Transformation]	Area	-5,95E-08	sqm
To shrub land (regionalized, SK) [Transformation]	Area	1,78E-11	sqm
To shrub land (regionalized, SL) [Transformation]	Area	5,09E-11	sqm
To shrub land (regionalized, UA) [Transformation]	Area	9,84E-11	sqm
To shrub land (regionalized, US) [Transformation]	Area	3,59E-05	sqm
From unspecified, natural (regionalized, AU) [Transformation]	Area	4,54E-08	sqm
From shrub land (regionalized, SL) [Transformation]	Area	5,09E-11	sqm
From shrub land (regionalized, SK) [Transformation]	Area	1,78E-11	sqm
From shrub land (regionalized, RS) [Transformation]	Area	5,97E-11	sqm
From shrub land (regionalized, MK) [Transformation]	Area	2,48E-11	sqm
From unspecified, natural [Transformation]	Area	1,52E-19	sqm
From unspecified [Transformation]	Area	3,80E-09	sqm
From shrub land (regionalized, ZA) [Transformation]	Area	6,29E-07	sqm
From shrub land (regionalized, TR) [Transformation]	Area	1,84E-11	sqm
From forest, used (regionalized, BG) [Transformation]	Area	2,49E-07	sqm
From forest, used (regionalized, BE) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
From forest, used (regionalized, AT) [Transformation]	Area	9,93E-07	sqm
From forest, used [Transformation]	Area	1,63E-26	sqm
From forest, used (regionalized, ES) [Transformation]	Area	9,93E-07	sqm

From forest, used (regionalized, EE) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
From forest, used (regionalized, DE) [Transformation]	Area	1,96E-05	sqm
From forest, used (regionalized, CZ) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, primary (regionalized, BR) [Transformation]	Area	4,49E-08	sqm
From forest, natural (regionalized, RU) [Transformation]	Area	3,63E-07	sqm
From forest, natural (regionalized, NO) [Transformation]	Area	5,72E-11	sqm
From forest, natural (regionalized, MY) [Transformation]	Area	5,39E-06	sqm
From forest, natural (regionalized, KR) [Transformation]	Area	7,05E-13	sqm
From forest, natural (regionalized, VN) [Transformation]	Area	1,03E-10	sqm
From forest, natural (regionalized, VE) [Transformation]	Area	1,03E-07	sqm
From forest, natural (regionalized, US) [Transformation]	Area	3,59E-05	sqm
From forest, natural (regionalized, TH) [Transformation]	Area	1,10E-10	sqm
From forest, used (regionalized, SE) [Transformation]	Area	4,02E-06	sqm
From forest, used (regionalized, RO) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, used (regionalized, PT) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, used (regionalized, PL) [Transformation]	Area	2,24E-06	sqm
From grassland/pasture/meadow [Transformation]	Area	0,000136871	sqm
From grassland (regionalized, DE) [Transformation]	Area	1,10E-10	sqm
From grassland [Transformation]	Area	2,55E-18	sqm
From forest, used (regionalized, SK) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
From forest, used (regionalized, NZ) [Transformation]	Area	5,56E-11	sqm
From forest, used (regionalized, HU) [Transformation]	Area	2,48E-07	sqm
From forest, used (regionalized, GB) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, used (regionalized, FR) [Transformation]	Area	2,98E-06	sqm
From forest, used (regionalized, FI) [Transformation]	Area	3,23E-06	sqm
From forest, used (regionalized, NO) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, used (regionalized, LV) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
From forest, used (regionalized, LT) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
From forest, used (regionalized, IT) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To shrub land (regionalized, RU) [Transformation]	Area	2,43E-09	sqm
To forest, used (regionalized, BG) [Transformation]	Area	2,48E-07	sqm
To forest, used (regionalized, CZ) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, DE) [Transformation]	Area	1,96E-05	sqm
To forest, used (regionalized, EE) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To forest [Transformation]	Area	4,41E-16	sqm
To forest, used [Transformation]	Area	2,36E-27	sqm
To forest, used (regionalized, AT) [Transformation]	Area	9,93E-07	sqm
To forest, used (regionalized, BE) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To forest, used (regionalized, ES) [Transformation]	Area	9,93E-07	sqm
To forest, used (regionalized, IT) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To forest, used (regionalized, LT) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To forest, used (regionalized, LV) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, NO) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, FI) [Transformation]	Area	3,23E-06	sqm
To forest, used (regionalized, FR) [Transformation]	Area	2,98E-06	sqm
To forest, used (regionalized, GB) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, HU) [Transformation]	Area	2,48E-07	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, ES) [Transformation]	Area	0,002237208	sqm

To arable, irrigated, intensive (regionalized, FR) [Transformation]	Area	1,91E-05	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, GB) [Transformation]	Area	0,000600041	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, IT) [Transformation]	Area	9,93E-10	sqm
To agriculture [Transformation]	Area	1,01E-12	sqm
To arable, irrigated, intensive [Transformation]	Area	1,23E-23	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, BR) [Transformation]	Area	6,48E-06	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, DE) [Transformation]	Area	0,00468569	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, NL) [Transformation]	Area	0,000778376	sqm
To arable, non-irrigated, intensive (regionalized, BR) [Transformation]	Area	0,004249367	sqm
To arable, non-irrigated, intensive (regionalized, DE) [Transformation]	Area	0,000474722	sqm
To bare area [Transformation]	Area	1,84E-10	sqm
To bare area (regionalized, CN) [Transformation]	Area	2,10E-11	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, PL) [Transformation]	Area	0,001660355	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, RO) [Transformation]	Area	2,95E-09	sqm
To arable, irrigated, intensive (regionalized, US) [Transformation]	Area	2,80E-05	sqm
To arable, non-irrigated, intensive [Transformation]	Area	6,78E-24	sqm
To shrub land (regionalized, ES) [Transformation]	Area	9,12E-11	sqm
To shrub land (regionalized, FR) [Transformation]	Area	3,72E-13	sqm
To shrub land (regionalized, GB) [Transformation]	Area	2,38E-10	sqm
To shrub land (regionalized, HU) [Transformation]	Area	8,35E-11	sqm
To shrub land (regionalized, CL) [Transformation]	Area	6,12E-10	sqm
To shrub land (regionalized, CN) [Transformation]	Area	1,46E-12	sqm
To shrub land (regionalized, CZ) [Transformation]	Area	1,27E-09	sqm
To shrub land (regionalized, DE) [Transformation]	Area	2,48E-07	sqm
To shrub land (regionalized, IN) [Transformation]	Area	5,75E-10	sqm
To shrub land (regionalized, NZ) [Transformation]	Area	5,56E-11	sqm
To shrub land (regionalized, PL) [Transformation]	Area	1,24E-09	sqm
To shrub land (regionalized, RO) [Transformation]	Area	3,32E-10	sqm
To shrub land (regionalized, RS) [Transformation]	Area	5,97E-11	sqm
To shrub land (regionalized, IT) [Transformation]	Area	6,06E-13	sqm
To shrub land (regionalized, KZ) [Transformation]	Area	4,69E-12	sqm
To shrub land (regionalized, MK) [Transformation]	Area	2,48E-11	sqm
To shrub land (regionalized, NL) [Transformation]	Area	9,43E-23	sqm
To forest, used (regionalized, SE) [Transformation]	Area	3,97E-06	sqm
To forest, used (regionalized, SK) [Transformation]	Area	4,97E-07	sqm
To grassland [Transformation]	Area	6,54E-11	sqm
To industrial area [Transformation]	Area	3,80E-09	sqm
To forest, used (regionalized, PL) [Transformation]	Area	2,23E-06	sqm
To forest, used (regionalized, PT) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, RO) [Transformation]	Area	7,45E-07	sqm
To forest, used (regionalized, RU) [Transformation]	Area	3,63E-07	sqm
To permanent crops [Transformation]	Area	3,87E-09	sqm
To shrub land (regionalized, AU) [Transformation]	Area	6,79E-07	sqm
To shrub land (regionalized, BA) [Transformation]	Area	3,60E-11	sqm
To shrub land (regionalized, BG) [Transformation]	Area	2,81E-10	sqm
To shrub land (regionalized, CA) [Transformation]	Area	1,49E-07	sqm
To permanent crops (regionalized, BR) [Transformation]	Area	0,011950628	sqm
To permanent crops (regionalized, ES) [Transformation]	Area	3,71E-10	sqm

To permanent crops (regionalized, MY) [Transformation]	Area	1,32E-05	sqm
To shrub land [Transformation]	Area	0,000234305	sqm
To unspecified, natural (regionalized, TH) [Transformation]	Area	1,10E-10	sqm
To unspecified, natural (regionalized, SE) [Transformation]	Area	4,61E-08	sqm
To unspecified, natural (regionalized, NO) [Transformation]	Area	5,72E-11	sqm
To unspecified, natural (regionalized, DE) [Transformation]	Area	7,51E-10	sqm
To unspecified, natural (regionalized, VE) [Transformation]	Area	1,03E-07	sqm
To unspecified, natural (regionalized, TR) [Transformation]	Area	1,84E-11	sqm
To unspecified, natural (regionalized, MY) [Transformation]	Area	5,39E-06	sqm
From arable, irrigated, intensive [Transformation]	Area	1,23E-23	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, BR) [Transformation]	Area	6,48E-06	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, CZ) [Transformation]	Area	1,27E-09	sqm
To unspecified, natural (regionalized, AR) [Transformation]	Area	4,41E-09	sqm
From agriculture [Transformation]	Area	5,73E-14	sqm
From arable [Transformation]	Area	2,63E-20	sqm
To unspecified, natural (regionalized, ID) [Transformation]	Area	9,63E-08	sqm
To unspecified, natural (regionalized, MX) [Transformation]	Area	6,60E-12	sqm
To unspecified, natural (regionalized, GR) [Transformation]	Area	4,14E-10	sqm
To unspecified, natural (regionalized, ZA) [Transformation]	Area	6,29E-07	sqm
To urban, discontinuously built (regionalized, KR) [Transformation]	Area	7,05E-13	sqm
To urban/industrial fallow (regionalized, DE) [Transformation]	Area	1,10E-10	sqm
To unspecified, natural (regionalized, AU) [Transformation]	Area	4,82E-08	sqm
To unspecified, natural (regionalized, CL) [Transformation]	Area	-5,95E-08	sqm
To unspecified, natural (regionalized, CN) [Transformation]	Area	8,13E-09	sqm
To unspecified, natural (regionalized, CO) [Transformation]	Area	1,32E-06	sqm
To unspecified, natural (regionalized, VN) [Transformation]	Area	1,03E-10	sqm
To unspecified, natural (regionalized, BR) [Transformation]	Area	6,89E-08	sqm
To unspecified, natural (regionalized, CA) [Transformation]	Area	-2,95E-07	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, NL) [Transformation]	Area	9,43E-23	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, US) [Transformation]	Area	2,02E-11	sqm
From forest [Transformation]	Area	6,54E-11	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, CN) [Transformation]	Area	1,46E-12	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, DE) [Transformation]	Area	0,000474957	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, GB) [Transformation]	Area	2,38E-10	sqm
From forest, natural [Transformation]	Area	6,43E-10	sqm
From forest, natural (regionalized, CO) [Transformation]	Area	1,32E-06	sqm
From forest, natural (regionalized, ID) [Transformation]	Area	9,63E-08	sqm
From forest, natural (regionalized, IN) [Transformation]	Area	5,75E-10	sqm
From forest, natural (regionalized, AU) [Transformation]	Area	6,79E-07	sqm
From forest, natural (regionalized, BR) [Transformation]	Area	2,40E-08	sqm
From forest, natural (regionalized, CA) [Transformation]	Area	-1,46E-07	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, GB) [Transformation]	Area	0,000600041	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, IT) [Transformation]	Area	9,93E-10	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, NL) [Transformation]	Area	0,000778376	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, DE) [Transformation]	Area	0,00468569	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, ES) [Transformation]	Area	0,002237208	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, FR) [Transformation]	Area	1,91E-05	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, PL) [Transformation]	Area	0,001660355	sqm

From arable, non-irrigated, intensive [Transformation]	Area	0,000234305	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, BR) [Transformation]	Area	0,004249367	sqm
From arable, non-irrigated, intensive (regionalized, CA) [Transformation]	Area	4,81E-10	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, RO) [Transformation]	Area	2,95E-09	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, UA) [Transformation]	Area	9,84E-11	sqm
From arable, irrigated, intensive (regionalized, US) [Transformation]	Area	2,63E-05	sqm
Arable, irrigated, intensive (regionalized, GB) [Occupation]	Areatime	0,000600041	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, IT) [Occupation]	Areatime	9,93E-10	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, NL) [Occupation]	Areatime	0,000778376	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, FR) [Occupation]	Areatime	1,91E-05	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, BR) [Occupation]	Areatime	6,48E-06	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, DE) [Occupation]	Areatime	0,00468569	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, ES) [Occupation]	Areatime	0,002237208	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, PL) [Occupation]	Areatime	0,001660355	m2*yr
Arable, non-irrigated, intensive (regionalized, DE) [Occupation]	Areatime	0,000474722	m2*yr
Industrial area (regionalized, ZA) [Occupation]	Areatime	5,09E-08	m2*yr
Industrial area (regionalized, VN) [Occupation]	Areatime	3,54E-11	m2*yr
Arable, non-irrigated, intensive (regionalized, BR) [Occupation]	Areatime	0,004249367	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, RO) [Occupation]	Areatime	2,95E-09	m2*yr
Arable, irrigated, intensive (regionalized, US) [Occupation]	Areatime	2,80E-05	m2*yr
Arable, non-irrigated, intensive [Occupation]	Areatime	6,78E-24	m2*yr
Industrial area (regionalized, MY) [Occupation]	Areatime	5,42E-07	m2*yr
Industrial area (regionalized, NO) [Occupation]	Areatime	1,92E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, NZ) [Occupation]	Areatime	4,59E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, PL) [Occupation]	Areatime	2,08E-10	m2*yr
Industrial area (regionalized, MX) [Occupation]	Areatime	1,20E-10	m2*yr
Industrial area (regionalized, IT) [Occupation]	Areatime	3,63E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, KR) [Occupation]	Areatime	2,95E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, KZ) [Occupation]	Areatime	1,13E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, MK) [Occupation]	Areatime	8,62E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, RO) [Occupation]	Areatime	8,17E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, TR) [Occupation]	Areatime	1,68E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, UA) [Occupation]	Areatime	5,08E-11	m2*yr
Industrial area (regionalized, US) [Occupation]	Areatime	3,43E-07	m2*yr
Industrial area (regionalized, VE) [Occupation]	Areatime	5,73E-08	m2*yr
Industrial area (regionalized, TH) [Occupation]	Areatime	2,33E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, RS) [Occupation]	Areatime	4,47E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, RU) [Occupation]	Areatime	1,41E-07	m2*yr
Industrial area (regionalized, SK) [Occupation]	Areatime	4,27E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, SL) [Occupation]	Areatime	1,16E-12	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, PL) [Occupation]	Areatime	8,87E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, RO) [Occupation]	Areatime	2,86E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, RS) [Occupation]	Areatime	3,46E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, RU) [Occupation]	Areatime	7,92E-08	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, SE) [Occupation]	Areatime	4,61E-08	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, NZ) [Occupation]	Areatime	4,07E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, MK) [Occupation]	Areatime	1,99E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, MX) [Occupation]	Areatime	4,35E-12	m2*yr

Mineral extraction site (regionalized, MY) [Occupation]	Areatime	2,34E-06	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, NL) [Occupation]	Areatime	9,43E-23	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, NO) [Occupation]	Areatime	5,40E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, SK) [Occupation]	Areatime	1,54E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, ZA) [Occupation]	Areatime	5,57E-07	m2*yr
Permanent crops [Occupation]	Areatime	3,87E-09	m2*yr
Permanent crops (regionalized, BR) [Occupation]	Areatime	0,011950628	m2*yr
Permanent crops (regionalized, ES) [Occupation]	Areatime	3,71E-10	m2*yr
Permanent crops (regionalized, MY) [Occupation]	Areatime	1,32E-05	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, VN) [Occupation]	Areatime	2,65E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, SL) [Occupation]	Areatime	4,44E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, TH) [Occupation]	Areatime	1,09E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, TR) [Occupation]	Areatime	9,74E-12	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, US) [Occupation]	Areatime	3,49E-05	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, VE) [Occupation]	Areatime	3,98E-09	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, KZ) [Occupation]	Areatime	2,50E-12	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, BA) [Occupation]	Areatime	1,72E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, BG) [Occupation]	Areatime	2,40E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, BR) [Occupation]	Areatime	4,73E-08	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, CA) [Occupation]	Areatime	-2,23E-07	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, CL) [Occupation]	Areatime	-5,95E-08	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, AU) [Occupation]	Areatime	3,11E-07	m2*yr
Arable, irrigated, intensive [Occupation]	Areatime	1,23E-23	m2*yr
Arable [Occupation]	Areatime	1,63E-05	m2*yr
Agriculture [Occupation]	Areatime	8,12E-19	m2*yr
Mineral extraction site [Occupation]	Areatime	0,000234344	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, AR) [Occupation]	Areatime	4,41E-09	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, CN) [Occupation]	Areatime	4,50E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, GR) [Occupation]	Areatime	3,66E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, HU) [Occupation]	Areatime	7,29E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, ID) [Occupation]	Areatime	7,21E-08	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, IN) [Occupation]	Areatime	5,49E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, KR) [Occupation]	Areatime	1,57E-13	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, GB) [Occupation]	Areatime	1,92E-10	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, CO) [Occupation]	Areatime	5,77E-07	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, CZ) [Occupation]	Areatime	1,05E-09	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, DE) [Occupation]	Areatime	2,45E-07	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, ES) [Occupation]	Areatime	7,80E-11	m2*yr
Mineral extraction site (regionalized, FR) [Occupation]	Areatime	2,43E-15	m2*yr
Dump site (regionalized, TH) [Occupation]	Areatime	1,08E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, SL) [Occupation]	Areatime	5,37E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, SK) [Occupation]	Areatime	1,98E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, RU) [Occupation]	Areatime	1,45E-07	m2*yr
Dump site (regionalized, RS) [Occupation]	Areatime	2,07E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, TR) [Occupation]	Areatime	6,93E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, ZA) [Occupation]	Areatime	2,12E-08	m2*yr
Dump site (regionalized, VN) [Occupation]	Areatime	4,16E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, VE) [Occupation]	Areatime	4,21E-08	m2*yr

Dump site (regionalized, US) [Occupation]	Areacetime	6,70E-07	m2*yr
Dump site (regionalized, UA) [Occupation]	Areacetime	4,76E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, MK) [Occupation]	Areacetime	3,98E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, KZ) [Occupation]	Areacetime	1,06E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, KR) [Occupation]	Areacetime	2,53E-13	m2*yr
Dump site (regionalized, IT) [Occupation]	Areacetime	2,43E-13	m2*yr
Dump site (regionalized, IN) [Occupation]	Areacetime	1,66E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, MX) [Occupation]	Areacetime	5,52E-10	m2*yr
Dump site (regionalized, RO) [Occupation]	Areacetime	3,78E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, PL) [Occupation]	Areacetime	1,44E-10	m2*yr
Dump site (regionalized, NZ) [Occupation]	Areacetime	1,03E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, NO) [Occupation]	Areacetime	1,29E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, MY) [Occupation]	Areacetime	2,50E-06	m2*yr
Forest, used (regionalized, LV) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, LT) [Occupation]	Areacetime	4,97E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, IT) [Occupation]	Areacetime	4,97E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, HU) [Occupation]	Areacetime	2,48E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, GB) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, NO) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, SK) [Occupation]	Areacetime	4,97E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, SE) [Occupation]	Areacetime	3,97E-06	m2*yr
Forest, used (regionalized, RO) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, PT) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, PL) [Occupation]	Areacetime	2,23E-06	m2*yr
Forest, used (regionalized, BG) [Occupation]	Areacetime	2,48E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, BE) [Occupation]	Areacetime	4,97E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, AT) [Occupation]	Areacetime	9,93E-07	m2*yr
Forest, used [Occupation]	Areacetime	1,73E-17	m2*yr
Forest [Occupation]	Areacetime	-2,71E-17	m2*yr
Forest, used (regionalized, CZ) [Occupation]	Areacetime	7,45E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, FR) [Occupation]	Areacetime	2,98E-06	m2*yr
Forest, used (regionalized, FI) [Occupation]	Areacetime	3,23E-06	m2*yr
Forest, used (regionalized, ES) [Occupation]	Areacetime	9,93E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, EE) [Occupation]	Areacetime	4,97E-07	m2*yr
Forest, used (regionalized, DE) [Occupation]	Areacetime	1,96E-05	m2*yr
Dump site (regionalized, AU) [Occupation]	Areacetime	2,48E-07	m2*yr
Dump site (regionalized, BA) [Occupation]	Areacetime	1,20E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, BG) [Occupation]	Areacetime	3,39E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, BR) [Occupation]	Areacetime	9,96E-09	m2*yr
Dump site (regionalized, CA) [Occupation]	Areacetime	5,62E-08	m2*yr
Dump site [Occupation]	Areacetime	6,54E-11	m2*yr
Industrial area (regionalized, BR) [Occupation]	Areacetime	1,17E-08	m2*yr
Industrial area (regionalized, BG) [Occupation]	Areacetime	7,33E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, BA) [Occupation]	Areacetime	6,77E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, AU) [Occupation]	Areacetime	1,69E-07	m2*yr
Industrial area [Occupation]	Areacetime	3,80E-09	m2*yr
Dump site (regionalized, FR) [Occupation]	Areacetime	1,48E-13	m2*yr
Dump site (regionalized, GB) [Occupation]	Areacetime	3,47E-11	m2*yr

Dump site (regionalized, GR) [Occupation]	Areacetime	3,96E-11	m2*yr
Dump site (regionalized, HU) [Occupation]	Areacetime	8,67E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, ID) [Occupation]	Areacetime	2,06E-08	m2*yr
Dump site (regionalized, ES) [Occupation]	Areacetime	8,90E-12	m2*yr
Dump site (regionalized, CL) [Occupation]	Areacetime	2,51E-10	m2*yr
Dump site (regionalized, CN) [Occupation]	Areacetime	5,98E-09	m2*yr
Dump site (regionalized, CO) [Occupation]	Areacetime	6,12E-07	m2*yr
Dump site (regionalized, CZ) [Occupation]	Areacetime	1,58E-10	m2*yr
Dump site (regionalized, DE) [Occupation]	Areacetime	3,41E-09	m2*yr
Industrial area (regionalized, CA) [Occupation]	Areacetime	2,06E-08	m2*yr
Industrial area (regionalized, IN) [Occupation]	Areacetime	1,01E-11	m2*yr
Industrial area (regionalized, GB) [Occupation]	Areacetime	1,21E-11	m2*yr
Industrial area (regionalized, FR) [Occupation]	Areacetime	2,21E-13	m2*yr
Industrial area (regionalized, ID) [Occupation]	Areacetime	3,53E-09	m2*yr
Industrial area (regionalized, HU) [Occupation]	Areacetime	1,87E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, GR) [Occupation]	Areacetime	8,58E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, ES) [Occupation]	Areacetime	4,29E-12	m2*yr
Industrial area (regionalized, DE) [Occupation]	Areacetime	6,32E-09	m2*yr
Industrial area (regionalized, CZ) [Occupation]	Areacetime	6,75E-11	m2*yr
Industrial area (regionalized, CL) [Occupation]	Areacetime	2,03E-09	m2*yr
Industrial area (regionalized, CO) [Occupation]	Areacetime	1,32E-07	m2*yr
Pit gas (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	-2,82E-09	MJ
Pit Methane (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	0,0054386	MJ
Primary energy from waves [Renewable energy resources]	Energy (net calorific value)	2,79E-15	MJ
Primary energy from solar energy [Renewable energy resources]	Energy (net calorific value)	0,890534187	MJ
Primary energy from wind power [Renewable energy resources]	Energy (net calorific value)	0,374135013	MJ
Primary energy from hydro power [Renewable energy resources]	Energy (net calorific value)	3,289217759	MJ
Primary energy from geothermics [Renewable energy resources]	Energy (net calorific value)	2,29E-05	MJ
Uranium natural (in MJ) [Uranium (resource)]	Energy (net calorific value)	0,306514473	MJ
Crude oil (in MJ) [Crude oil (resource)]	Energy (net calorific value)	0,67248763	MJ
Coalbed methane (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	0,000644762	MJ
Hard coal (in MJ) [Hard coal (resource)]	Energy (net calorific value)	0,37223259	MJ
Peat (in MJ) [Peat (resource)]	Energy (net calorific value)	0,000131033	MJ
Oil sand (100% bitumen) (in MJ) [Crude oil (resource)]	Energy (net calorific value)	0,00044681	MJ
Oil sand (10% bitumen) (in MJ) [Crude oil (resource)]	Energy (net calorific value)	0,000514043	MJ
Natural gas (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	1,675958618	MJ
Tight gas (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	0,002506902	MJ
Lignite (in MJ) [Lignite (resource)]	Energy (net calorific value)	0,194133005	MJ
Shale gas (in MJ) [Natural gas (resource)]	Energy (net calorific value)	0,006026647	MJ
Thulium [Non renewable elements]	Mass	3,12E-17	kg

River water, regionalized, CZ [Water]	Mass	0,000210091	kg
River water, regionalized, DE [Water]	Mass	0,033464793	kg
River water, regionalized, DK [Water]	Mass	1,66E-06	kg
River water, regionalized, CN [Water]	Mass	0,000564074	kg
River water, regionalized, CL [Water]	Mass	0,002757678	kg
River water, regionalized, CH [Water]	Mass	8,11E-05	kg
River water, regionalized, CO [Water]	Mass	0,00145737	kg
Tin [Non renewable elements]	Mass	5,35E-21	kg
Tin ore (0.01%) [Non renewable resources]	Mass	7,76E-09	kg
Titanium [Non renewable elements]	Mass	1,60E-10	kg
Stone from mountains [Non renewable resources]	Mass	9,57E-07	kg
Strontium [Non renewable elements]	Mass	1,15E-11	kg
Sulphur [Non renewable elements]	Mass	2,24E-05	kg
River water, regionalized, GR [Water]	Mass	1,12E-05	kg
River water, regionalized, GB [Water]	Mass	0,001071179	kg
Soil [Non renewable resources]	Mass	0,026069378	kg
Sulphur (bonded) [Non renewable resources]	Mass	2,66E-09	kg
Talc [Non renewable resources]	Mass	9,25E-10	kg
Tantalum [Non renewable elements]	Mass	5,24E-10	kg
River water, regionalized, EE [Water]	Mass	0,000132779	kg
River water, regionalized, FR [Water]	Mass	0,001689523	kg
River water, regionalized, FI [Water]	Mass	1,38E-05	kg
River water, regionalized, ES [Water]	Mass	0,020094159	kg
River water to turbine, regionalized, RU [Water]	Mass	0,560209518	kg
River water to turbine, regionalized, RS [Water]	Mass	0,002022209	kg
River water to turbine, regionalized, PT [Water]	Mass	0,004753403	kg
River water to turbine, regionalized, SK [Water]	Mass	0,001505557	kg
River water to turbine, regionalized, SI [Water]	Mass	0,017485817	kg
River water to turbine, regionalized, SE [Water]	Mass	0,043980476	kg
River water to turbine, regionalized, PH [Water]	Mass	4,71E-13	kg
River water to turbine, regionalized, NG [Water]	Mass	0,757061377	kg
River water to turbine, regionalized, MY [Water]	Mass	2,25289902	kg
River water to turbine, regionalized, MX [Water]	Mass	0,000399073	kg
River water to turbine, regionalized, NZ [Water]	Mass	0,002504425	kg
River water to turbine, regionalized, NO [Water]	Mass	0,158424443	kg
River water to turbine, regionalized, NL [Water]	Mass	0,000471508	kg
River water, regionalized, BE [Water]	Mass	0,000263234	kg
River water, regionalized, BA [Water]	Mass	2,76E-05	kg
River water, regionalized, AU [Water]	Mass	0,001954745	kg
River water, regionalized, CA [Water]	Mass	0,003209699	kg
River water, regionalized, BR [Water]	Mass	30,10460128	kg
River water, regionalized, BG [Water]	Mass	0,000292411	kg
River water, regionalized, AT [Water]	Mass	0,000136078	kg
River water to turbine, regionalized, UA [Water]	Mass	0,000598436	kg
River water to turbine, regionalized, TR [Water]	Mass	0,00082846	kg
River water to turbine, regionalized, TH [Water]	Mass	0,004711822	kg
River water, regionalized, AR [Water]	Mass	0,00039185	kg

River water to turbine, regionalized, ZA [Water]	Mass	0,0088464	kg
River water to turbine, regionalized, US [Water]	Mass	0,057996361	kg
River water, regionalized, HU [Water]	Mass	0,000201436	kg
River water, regionalized, PL [Water]	Mass	0,001506213	kg
River water, regionalized, PT [Water]	Mass	7,84E-05	kg
River water, regionalized, RO [Water]	Mass	0,000139696	kg
River water, regionalized, NO [Water]	Mass	3,97E-05	kg
River water, regionalized, NZ [Water]	Mass	-2,88E-05	kg
River water, regionalized, PH [Water]	Mass	1,20E-14	kg
Ytterbium [Non renewable elements]	Mass	6,25E-17	kg
Vanadium [Non renewable elements]	Mass	-6,05E-09	kg
River water, regionalized, SG [Water]	Mass	7,55E-07	kg
River water, regionalized, RS [Water]	Mass	2,16E-05	kg
River water, regionalized, RU [Water]	Mass	0,006370581	kg
River water, regionalized, SE [Water]	Mass	2,77E-05	kg
River water, regionalized, NL [Water]	Mass	0,008661734	kg
Titanium ore [Non renewable resources]	Mass	1,58E-09	kg
River water, regionalized, LV [Water]	Mass	9,56E-07	kg
Zirconium [Non renewable elements]	Mass	6,16E-16	kg
River water, regionalized, LU [Water]	Mass	-3,92E-05	kg
River water, regionalized, LT [Water]	Mass	6,42E-06	kg
River water, regionalized, KZ [Water]	Mass	0,001923081	kg
River water, regionalized, MX [Water]	Mass	0,000130361	kg
River water, regionalized, MY [Water]	Mass	0,084789362	kg
River water, regionalized, NG [Water]	Mass	0,014853485	kg
Zinc [Non renewable elements]	Mass	-3,29E-07	kg
Yttrium [Non renewable elements]	Mass	8,39E-15	kg
River water, regionalized, MK [Water]	Mass	3,01E-06	kg
River water, regionalized, SI [Water]	Mass	3,29E-05	kg
River water, regionalized, JP [Water]	Mass	-1,58E-05	kg
Sodium chloride (rock salt) [Non renewable resources]	Mass	2,66E-05	kg
River water, regionalized, IT [Water]	Mass	0,000281987	kg
Silver [Non renewable elements]	Mass	-6,06E-10	kg
Slate [Non renewable resources]	Mass	-2,70E-20	kg
River water, regionalized, KR [Water]	Mass	1,91E-05	kg
Sodium nitrate [Non renewable resources]	Mass	9,46E-25	kg
Sodium sulphate [Non renewable resources]	Mass	-8,04E-15	kg
River water, regionalized, ID [Water]	Mass	0,000298871	kg
River water, regionalized, IS [Water]	Mass	2,02E-09	kg
River water, regionalized, IN [Water]	Mass	9,20E-05	kg
River water, regionalized, IE [Water]	Mass	1,35E-05	kg
Silicon [Non renewable elements]	Mass	-3,08E-06	kg
River water, regionalized, UA [Water]	Mass	0,000109237	kg
River water, regionalized, US [Water]	Mass	0,007107809	kg
River water, regionalized, VE [Water]	Mass	0,000472569	kg
River water, regionalized, SK [Water]	Mass	0,000106635	kg
River water, regionalized, TH [Water]	Mass	0,000505364	kg
River water, regionalized, TR [Water]	Mass	7,77E-06	kg

Samarium [Non renewable elements]	Mass	3,74E-14	kg
Sea water [Water]	Mass	4,645156421	kg
Shale [Non renewable resources]	Mass	6,14E-06	kg
River water, regionalized, VN [Water]	Mass	1,40E-07	kg
River water, regionalized, ZA [Water]	Mass	0,000405674	kg
Ruthenium [Non renewable elements]	Mass	7,71E-13	kg
River water to turbine, regionalized, MK [Water]	Mass	0,000864169	kg
Ground water, regionalized, SI [Water]	Mass	1,74E-06	kg
Ground water, regionalized, SK [Water]	Mass	6,03E-07	kg
Ground water, regionalized, TH [Water]	Mass	4,25E-06	kg
Ground water, regionalized, RS [Water]	Mass	1,39E-06	kg
Ground water, regionalized, RU [Water]	Mass	0,002105681	kg
Ground water, regionalized, SE [Water]	Mass	2,67E-08	kg
Ground water, regionalized, VE [Water]	Mass	0,000550751	kg
Ground water, regionalized, VN [Water]	Mass	7,68E-07	kg
Ground water, regionalized, ZA [Water]	Mass	5,47E-05	kg
Ground water, regionalized, TR [Water]	Mass	5,62E-07	kg
Ground water, regionalized, UA [Water]	Mass	2,26E-06	kg
Ground water, regionalized, US [Water]	Mass	0,005337455	kg
Ground water, regionalized, RO [Water]	Mass	1,13E-05	kg
Ground water, regionalized, KR [Water]	Mass	8,39E-09	kg
Ground water, regionalized, KZ [Water]	Mass	8,76E-08	kg
Ground water, regionalized, MK [Water]	Mass	7,83E-07	kg
Ground water, regionalized, IE [Water]	Mass	2,34E-07	kg
Ground water, regionalized, IN [Water]	Mass	5,86E-06	kg
Ground water, regionalized, IT [Water]	Mass	4,92E-08	kg
Ground water, regionalized, NO [Water]	Mass	1,55E-06	kg
Ground water, regionalized, NZ [Water]	Mass	6,59E-07	kg
Ground water, regionalized, PL [Water]	Mass	0,000266084	kg
Ground water, regionalized, MX [Water]	Mass	2,29E-07	kg
Ground water, regionalized, MY [Water]	Mass	0,096061884	kg
Ground water, regionalized, NL [Water]	Mass	0,023159806	kg
Lake water to turbine, regionalized, BR [Water]	Mass	908,3888799	kg
Lake water to turbine, regionalized, CA [Water]	Mass	0,033554495	kg
Lake water to turbine, regionalized, CH [Water]	Mass	0,0011509	kg
Lake water to turbine, regionalized, BA [Water]	Mass	2,33E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, BE [Water]	Mass	2,67E-06	kg
Lake water to turbine, regionalized, BG [Water]	Mass	0,000436416	kg
Lake water to turbine, regionalized, DE [Water]	Mass	0,004433838	kg
Lake water to turbine, regionalized, ES [Water]	Mass	0,005053444	kg
Lake water to turbine, regionalized, FI [Water]	Mass	0,001100588	kg
Lake water to turbine, regionalized, CL [Water]	Mass	0,02126026	kg
Lake water to turbine, regionalized, CN [Water]	Mass	0,008488856	kg
Lake water to turbine, regionalized, CZ [Water]	Mass	0,000171162	kg
Lake water to turbine, regionalized, AU [Water]	Mass	0,006260264	kg
Ilmenite (titanium ore) [Non renewable resources]	Mass	4,95E-08	kg
Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,404613993	kg
Iridium [Non renewable elements]	Mass	1,30E-13	kg

Gypsum (natural gypsum) [Non renewable resources]	Mass	3,10E-05	kg
Heavy spar (BaSO4) [Non renewable resources]	Mass	-2,14E-09	kg
Holmium [Non renewable elements]	Mass	6,25E-15	kg
Lake water to turbine [Water]	Mass	89,19176006	kg
Lake water to turbine, regionalized, AR [Water]	Mass	0,001783469	kg
Lake water to turbine, regionalized, AT [Water]	Mass	0,003203647	kg
Iron [Non renewable elements]	Mass	0,000263436	kg
Kaolin ore [Non renewable resources]	Mass	1,99E-07	kg
Lake water [Water]	Mass	0,012757638	kg
Colemanite ore [Non renewable resources]	Mass	7,66E-07	kg
Copper [Non renewable elements]	Mass	2,55E-06	kg
Dolomite [Non renewable resources]	Mass	5,80E-05	kg
Chromium [Non renewable elements]	Mass	1,41E-05	kg
Clay [Non renewable resources]	Mass	0,000112404	kg
Cobalt [Non renewable elements]	Mass	7,04E-11	kg
Feldspar (aluminium silicates) [Non renewable resources]	Mass	2,60E-23	kg
Ferro manganese [Non renewable resources]	Mass	3,99E-19	kg
Fluorspar (calcium fluoride; fluorite) [Non renewable resources]	Mass	4,04E-06	kg
Dysprosium [Non renewable elements]	Mass	3,12E-15	kg
Erbium [Non renewable elements]	Mass	9,37E-16	kg
Europium [Non renewable elements]	Mass	6,57E-15	kg
Cerium [Non renewable elements]	Mass	1,53E-12	kg
Barium sulphate [Non renewable resources]	Mass	5,43E-17	kg
Basalt [Non renewable resources]	Mass	7,52E-08	kg
Bauxite [Non renewable resources]	Mass	1,00E-05	kg
Air [Renewable resources]	Mass	1,872217711	kg
Anhydrite (Rock) [Non renewable resources]	Mass	1,88E-17	kg
Antimony [Non renewable elements]	Mass	6,73E-09	kg
Calcium [Non renewable elements]	Mass	2,95E-08	kg
Calcium chloride [Non renewable resources]	Mass	5,56E-15	kg
Carbon dioxide [Renewable resources]	Mass	0,089187856	kg
Bentonite [Non renewable resources]	Mass	5,70E-05	kg
Borax [Non renewable resources]	Mass	3,16E-11	kg
Cadmium [Non renewable elements]	Mass	3,15E-11	kg
Ground water, regionalized, DE [Water]	Mass	0,039988304	kg
Ground water, regionalized, EE [Water]	Mass	5,23E-09	kg
Ground water, regionalized, ES [Water]	Mass	0,022849431	kg
Ground water, regionalized, CN [Water]	Mass	0,000161111	kg
Ground water, regionalized, CO [Water]	Mass	0,007975054	kg
Ground water, regionalized, CZ [Water]	Mass	4,40E-05	kg
Ground water, regionalized, GR [Water]	Mass	1,43E-05	kg
Ground water, regionalized, HU [Water]	Mass	2,85E-06	kg
Ground water, regionalized, ID [Water]	Mass	0,000232468	kg
Ground water, regionalized, FI [Water]	Mass	1,90E-05	kg
Ground water, regionalized, FR [Water]	Mass	0,000210435	kg
Ground water, regionalized, GB [Water]	Mass	0,001282281	kg
Ground water, regionalized, CL [Water]	Mass	3,68E-06	kg
Gold [Non renewable elements]	Mass	5,49E-11	kg

Granite [Non renewable resources]	Mass	2,63E-23	kg
Graphite [Non renewable resources]	Mass	1,64E-10	kg
Forest, primary [Renewable resources]	Mass	-1,37E-09	kg
Fresh water [Water]	Mass	2,88E-05	kg
Gadolinium [Non renewable elements]	Mass	1,24E-14	kg
Ground water, regionalized, BG [Water]	Mass	9,40E-06	kg
Ground water, regionalized, BR [Water]	Mass	0,847648111	kg
Ground water, regionalized, CA [Water]	Mass	0,001281234	kg
Ground water [Water]	Mass	0,008949427	kg
Ground water, regionalized, AU [Water]	Mass	0,001027668	kg
Ground water, regionalized, BA [Water]	Mass	7,16E-07	kg
Platinum [Non renewable elements]	Mass	3,91E-12	kg
Potashsalt, crude (hard salt, 10% K2O) [Non renewable resources]	Mass	0,002076199	kg
Potassium chloride [Non renewable resources]	Mass	-1,25E-11	kg
Phonolite [Non renewable resources]	Mass	2,58E-09	kg
Phosphate ore [Non renewable resources]	Mass	0,000518349	kg
Phosphorus [Non renewable elements]	Mass	8,29E-05	kg
Rain water [Water]	Mass	14,79266739	kg
Rhodium [Non renewable elements]	Mass	3,91E-13	kg
River water [Water]	Mass	0,145108537	kg
Praseodymium [Non renewable elements]	Mass	1,71E-13	kg
Pyrite [Non renewable resources]	Mass	-1,01E-07	kg
Quartz sand (silica sand; silicon dioxide) [Non renewable resources]	Mass	8,49E-05	kg
Palladium [Non renewable elements]	Mass	2,31E-12	kg
Molybdenum [Non renewable elements]	Mass	1,03E-06	kg
Natural Aggregate [Non renewable resources]	Mass	0,013594052	kg
Natural pumice [Non renewable resources]	Mass	2,38E-06	kg
Manganese [Non renewable elements]	Mass	5,93E-06	kg
Manganese ore [Non renewable resources]	Mass	-9,20E-13	kg
Mercury [Non renewable elements]	Mass	8,67E-15	kg
Olivine [Non renewable resources]	Mass	7,15E-18	kg
Osmium [Non renewable elements]	Mass	1,59E-13	kg
Oxygen [Renewable resources]	Mass	0,000353869	kg
Neodymium [Non renewable elements]	Mass	5,31E-13	kg
Nickel [Non renewable elements]	Mass	1,27E-07	kg
Nitrogen [Renewable resources]	Mass	4,52E-15	kg
River water to turbine, regionalized, HU [Water]	Mass	0,000548728	kg
River water to turbine, regionalized, ID [Water]	Mass	0,003475878	kg
River water to turbine, regionalized, IE [Water]	Mass	0,00030518	kg
River water to turbine, regionalized, EE [Water]	Mass	7,53E-05	kg
River water to turbine, regionalized, FI [Water]	Mass	0,007954674	kg
River water to turbine, regionalized, FR [Water]	Mass	0,166229676	kg
River water to turbine, regionalized, KR [Water]	Mass	0,000269969	kg
River water to turbine, regionalized, KZ [Water]	Mass	0,041557215	kg
River water to turbine, regionalized, LV [Water]	Mass	0,006034628	kg
River water to turbine, regionalized, IN [Water]	Mass	0,008182438	kg
River water to turbine, regionalized, IT [Water]	Mass	0,045165044	kg

River water to turbine, regionalized, JP [Water]	Mass	-	kg
River water to turbine, regionalized, DK [Water]	Mass	3,86E-05	kg
River water to turbine, regionalized, AU [Water]	Mass	0,003738359	kg
River water to turbine, regionalized, BA [Water]	Mass	0,002684973	kg
River water to turbine, regionalized, BE [Water]	Mass	0,000883836	kg
River water to turbine [Water]	Mass	0,005192364	kg
River water to turbine, regionalized, AR [Water]	Mass	0,004640216	kg
River water to turbine, regionalized, AT [Water]	Mass	0,250481995	kg
River water to turbine, regionalized, CN [Water]	Mass	0,012817036	kg
River water to turbine, regionalized, CZ [Water]	Mass	0,013276878	kg
River water to turbine, regionalized, DE [Water]	Mass	0,760985166	kg
River water to turbine, regionalized, BG [Water]	Mass	0,000542608	kg
River water to turbine, regionalized, CA [Water]	Mass	0,107714807	kg
River water to turbine, regionalized, CH [Water]	Mass	0,0294117	kg
Lake water to turbine, regionalized, NG [Water]	Mass	0,011408699	kg
Lake water to turbine, regionalized, NO [Water]	Mass	0,020502233	kg
Lake water to turbine, regionalized, NZ [Water]	Mass	-	kg
Lake water to turbine, regionalized, MK [Water]	Mass	1,29E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, MX [Water]	Mass	0,000266702	kg
Lake water to turbine, regionalized, MY [Water]	Mass	0,033497563	kg
Lake water to turbine, regionalized, RO [Water]	Mass	0,001977411	kg
Lake water to turbine, regionalized, RS [Water]	Mass	2,00E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, RU [Water]	Mass	0,044509794	kg
Lake water to turbine, regionalized, PH [Water]	Mass	1,09E-14	kg
Lake water to turbine, regionalized, PL [Water]	Mass	0,000181014	kg
Lake water to turbine, regionalized, PT [Water]	Mass	0,001333863	kg
Lake water to turbine, regionalized, LU [Water]	Mass	-	kg
Lake water to turbine, regionalized, ID [Water]	Mass	8,04E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, IE [Water]	Mass	4,87E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, IN [Water]	Mass	0,00019094	kg
Lake water to turbine, regionalized, FR [Water]	Mass	0,005072955	kg
Lake water to turbine, regionalized, GB [Water]	Mass	0,000690619	kg
Lake water to turbine, regionalized, GR [Water]	Mass	0,000328065	kg
Lake water to turbine, regionalized, KR [Water]	Mass	1,34E-06	kg
Lake water to turbine, regionalized, KZ [Water]	Mass	0,002194182	kg
Lake water to turbine, regionalized, LT [Water]	Mass	5,89E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, IS [Water]	Mass	5,70E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, IT [Water]	Mass	0,002515928	kg
Lake water to turbine, regionalized, JP [Water]	Mass	-	kg
Lake water, regionalized, PL [Water]	Mass	0,000896592	kg
Lake water, regionalized, RO [Water]	Mass	5,60E-08	kg
Lake water, regionalized, US [Water]	Mass	0,000421206	kg
Lake water, regionalized, IT [Water]	Mass	2,57E-08	kg
Lake water, regionalized, MY [Water]	Mass	0,000164792	kg
Lake water, regionalized, NL [Water]	Mass	0,008385447	kg
Magnesit (Magnesium carbonate) [Non renewable resources]	Mass	1,29E-06	kg

Magnesium [Non renewable elements]	Mass	-2,77E-06	kg
Magnesium chloride leach (40%) [Non renewable resources]	Mass	3,03E-06	kg
Lead [Non renewable elements]	Mass	8,25E-07	kg
Limestone (calcium carbonate) [Non renewable resources]	Mass	0,002956045	kg
Lutetium [Non renewable elements]	Mass	6,25E-17	kg
Lake water, regionalized, GB [Water]	Mass	0,000960032	kg
Lake water to turbine, regionalized, TR [Water]	Mass	0,000115959	kg
Lake water to turbine, regionalized, UA [Water]	Mass	3,06E-05	kg
Lake water to turbine, regionalized, US [Water]	Mass	0,016845652	kg
Lake water to turbine, regionalized, SE [Water]	Mass	0,0061507	kg
Lake water to turbine, regionalized, SK [Water]	Mass	0,000263172	kg
Lake water to turbine, regionalized, TH [Water]	Mass	0,000109673	kg
Lake water, regionalized, DE [Water]	Mass	0,005127271	kg
Lake water, regionalized, ES [Water]	Mass	0,019450283	kg
Lake water, regionalized, FR [Water]	Mass	0,00012858	kg
Lake water to turbine, regionalized, VE [Water]	Mass	0,006095576	kg
Lake water to turbine, regionalized, ZA [Water]	Mass	0,000727086	kg
Lake water, regionalized, BR [Water]	Mass	1,806551392	kg

Fluxos de Saída “BR: Electricity grid mix ts”

Flows	Quantities	Amount	Units
Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	3,6	MJ
High radioactive waste [Radioactive waste]	Mass	1,40E-07	kg
Low radioactive wastes [Radioactive waste]	Mass	2,04E-06	kg
Medium radioactive wastes [Radioactive waste]	Mass	8,45E-07	kg
Radioactive tailings [Radioactive waste]	Mass	0,000113078	kg
1,1,1-Trichloroethane [Halogenated organic emissions to air]	Mass	5,36E-18	kg
1,2-Dibromoethane [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	-1,85E-19	kg
1,3,5-Trimethylbenzene [Group NMVOC to air]	Mass	9,52E-14	kg
1-Butylene (Vinylacetylene) [Group NMVOC to air]	Mass	5,50E-12	kg
1-Methoxy-2-propanol [Group NMVOC to air]	Mass	4,30E-12	kg
1-Pentene [Group NMVOC to air]	Mass	1,95E-11	kg
1-Tetradecane [Group NMVOC to air]	Mass	1,43E-15	kg
1-Tridecane [Group NMVOC to air]	Mass	4,45E-15	kg
1-Undecane [Group NMVOC to air]	Mass	2,08E-15	kg
2,2,4-Trimethylpentane [Group NMVOC to air]	Mass	3,54E-12	kg
2,2-Dimethylbutane [Group NMVOC to air]	Mass	3,75E-12	kg
2,4-Dimethylpentane [Group NMVOC to air]	Mass	1,47E-12	kg
2-Methyl-1-butene [Group NMVOC to air]	Mass	1,41E-11	kg
2-Methylpentane [Group NMVOC to air]	Mass	2,55E-11	kg
3-Methylpentane [Group NMVOC to air]	Mass	1,28E-11	kg
Acenaphthene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	2,55E-11	kg
Acenaphthene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,45E-10	kg
Acenaphthene [Group NMVOC to air]	Mass	7,15E-12	kg

Acenaphthylene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	1,10E-11	kg
Acenaphthylene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	6,23E-11	kg
Acenaphthylene [Group PAH to air]	Mass	1,41E-11	kg
Acetaldehyde (Ethanal) [Group NMVOC to air]	Mass	1,46E-07	kg
Acetic acid [Organic emissions to industrial soil]	Mass	4,06E-10	kg
Acetic acid [Hydrocarbons to sea water]	Mass	-3,25E-15	kg
Acetic acid [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	5,11E-10	kg
Acetic acid [Group NMVOC to air]	Mass	8,02E-07	kg
Acetochlor [Pesticides to air]	Mass	1,16E-19	kg
Acetochlor [Pesticides to fresh water]	Mass	7,23E-21	kg
Acetone (dimethylcetone) [Group NMVOC to air]	Mass	1,44E-07	kg
Acid (calculated as H+) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	6,52E-10	kg
Acrolein [Group NMVOC to air]	Mass	1,20E-11	kg
Acrylonitrile [Group NMVOC to air]	Mass	1,74E-14	kg
Acrylonitrile [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	2,03E-13	kg
Adsorbable organic halogen compounds (AOX) [Analytical measures to fresh water]	Mass	1,72E-08	kg
Adsorbable organic halogen compounds (AOX) [Analytical measures to sea water]	Mass	2,78E-14	kg
Alachlor [Pesticides to fresh water]	Mass	8,34E-10	kg
Aldehyde (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	4,64E-10	kg
Alkane (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	1,90E-06	kg
Alkane (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,10E-18	kg
Alkene (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	1,35E-06	kg
Aluminium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	3,81E-07	kg
Aluminium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	7,65E-14	kg
Aluminium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,10E-11	kg
Aluminium [Inorganic emissions to air]	Mass	2,30E-11	kg
Aluminium [Inorganic emissions to agricultural soil]	Mass	2,07E-15	kg
Americium (Am241) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,62E-08	Bq
Ammonia [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	2,56E-10	kg
Ammonia [Inorganic emissions to sea water]	Mass	-5,46E-16	kg
Ammonia [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,56E-07	kg
Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	1,89E-05	kg
Ammonium [Inorganic emissions to air]	Mass	1,10E-09	kg
Ammonium (total N) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,03E-13	kg
Ammonium / ammonia [Inorganic emissions to sea water]	Mass	9,04E-11	kg
Ammonium / ammonia [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,33E-07	kg
Ammonium nitrate [Inorganic emissions to air]	Mass	-2,30E-17	kg
Anthracene [Group PAH to air]	Mass	1,88E-12	kg
Anthracene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	4,76E-11	kg
Anthracene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	2,72E-10	kg
Antimony [Heavy metals to air]	Mass	3,99E-09	kg
Antimony [Heavy metals to industrial soil]	Mass	5,64E-15	kg
Antimony [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,16E-11	kg
Antimony (Sb124) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000512921	Bq
Antimony (Sb124) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,01E-05	Bq
Antimony (Sb125) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000571245	Bq

Argon [Inorganic emissions to air]	Mass	3,45E-08	kg
Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,624183607	Bq
Aromatic hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,07E-10	kg
Aromatic hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,42E-09	kg
Arsenic [Heavy metals to air]	Mass	2,80E-13	kg
Arsenic [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,46E-14	kg
Arsenic (+V) [Heavy metals to air]	Mass	3,98E-08	kg
Arsenic (+V) [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,47E-13	kg
Arsenic (+V) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,02E-07	kg
Arsenic (+V) [Heavy metals to sea water]	Mass	1,79E-08	kg
Arsenic (+V) [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	3,36E-19	kg
Arsenic trioxide [Heavy metals to air]	Mass	1,45E-14	kg
Atrazine [Pesticides to air]	Mass	5,41E-10	kg
Atrazine [Pesticides to fresh water]	Mass	3,38E-11	kg
Barium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	8,85E-07	kg
Barium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,56E-07	kg
Barium [Inorganic emissions to air]	Mass	5,38E-07	kg
Benomyl [Pesticides to air]	Mass	3,41E-11	kg
Benomyl [Pesticides to fresh water]	Mass	2,13E-12	kg
Bentazone [Pesticides to fresh water]	Mass	1,44E-14	kg
Bentazone [Pesticides to air]	Mass	2,30E-13	kg
Benzene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	3,32E-07	kg
Benzene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	5,86E-08	kg
Benzene [Group NMVOC to air]	Mass	1,70E-06	kg
Benzo{a}anthracene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	2,92E-12	kg
Benzo{a}anthracene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,66E-11	kg
Benzo{a}anthracene [Group PAH to air]	Mass	1,06E-12	kg
Benzo{a}pyrene [Group PAH to air]	Mass	4,41E-10	kg
Benzo{ghi}perylene [Group PAH to air]	Mass	8,49E-13	kg
Benzofluoranthene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	2,02E-12	kg
Benzofluoranthene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,56E-13	kg
Benzofluoranthene [Group PAH to air]	Mass	1,70E-12	kg
Beryllium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	4,10E-18	kg
Beryllium [Inorganic emissions to air]	Mass	3,64E-09	kg
Beryllium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,46E-11	kg
Beryllium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	-1,54E-15	kg
Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to fresh water]	Mass	3,77E-07	kg
Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to sea water]	Mass	3,07E-08	kg
Biphenyl [Group NMVOC to air]	Mass	1,96E-15	kg
Biphenyl [Organic emissions to fresh water]	Mass	1,00E-23	kg
Boron [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,22E-08	kg
Boron [Inorganic emissions to sea water]	Mass	-3,01E-16	kg
Boron [Inorganic emissions to air]	Mass	1,19E-14	kg
Boron compounds (unspecified) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,08E-07	kg
Bromate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	3,64E-21	kg
Bromide [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	-5,45E-15	kg

Bromine [Inorganic emissions to air]	Mass	2,42E-08	kg
Bromine [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	-5,45E-17	kg
Butadiene [Group NMVOC to air]	Mass	4,03E-15	kg
Butane (n-butane) [Group NMVOC to air]	Mass	4,01E-06	kg
Butanediol [Organic emissions to fresh water]	Mass	8,27E-14	kg
Butene [Group NMVOC to air]	Mass	3,54E-13	kg
C12-14 fatty alcohol [Group NMVOC to air]	Mass	1,54E-16	kg
Cadmium [Heavy metals to industrial soil]	Mass	5,43E-14	kg
Cadmium [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,45E-08	kg
Cadmium [Heavy metals to sea water]	Mass	7,66E-09	kg
Cadmium [Heavy metals to air]	Mass	1,49E-08	kg
Cadmium [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	9,66E-09	kg
Calcium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	3,51E-09	kg
Calcium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	-2,60E-14	kg
Calcium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,93E-06	kg
Caprolactam [Group NMVOC to air]	Mass	1,81E-12	kg
Carbofuran [Pesticides to air]	Mass	2,94E-11	kg
Carbofuran [Pesticides to fresh water]	Mass	1,84E-12	kg
Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,684693919	Bq
Carbon (C14) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	0,001834189	Bq
Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00015499	Bq
Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,32254373	kg
Carbon dioxide (aviation) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,03E-06	kg
Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0,089110497	kg
Carbon dioxide (land use change) [Inorganic emissions to air]	Mass	0,004751119	kg
Carbon dioxide (peat oxidation) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,01E-09	kg
Carbon disulphide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,23E-11	kg
Carbon disulphide [Inorganic emissions to air]	Mass	3,11E-15	kg
Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,000813136	kg
Carbon, organically bound [Organic emissions to fresh water]	Mass	0,000342408	kg
Carbonate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,88E-05	kg
Carbonate [Inorganic emissions to sea water]	Mass	9,82E-06	kg
Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	2,20E-05	Bq
Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,68E-06	Bq
Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000122222	Bq
Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000604798	Bq
Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	0,000294678	Bq
Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,66E-06	Bq
Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to sea water]	Mass	1,06E-06	kg
Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	Mass	0,001224093	kg
Chlorate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,90E-16	kg
Chloride [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,61E-07	kg
Chloride [Inorganic emissions to sea water]	Mass	0,000775804	kg
Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,004521136	kg
Chloride (unspecified) [Inorganic emissions to air]	Mass	2,63E-08	kg
Chlorinated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	1,30E-18	kg

Chlorine [Inorganic emissions to agricultural soil]	Mass	8,73E-16	kg
Chlorine [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,61E-11	kg
Chlorine [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,20E-11	kg
Chlorine [Inorganic emissions to air]	Mass	4,93E-09	kg
Chlorine (dissolved) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,22E-07	kg
Chlormequat-chloride [Pesticides to air]	Mass	1,47E-15	kg
Chlormequat-chloride [Pesticides to fresh water]	Mass	9,17E-17	kg
Chloromethane (methyl chloride) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,91E-14	kg
Chloromethane (methyl chloride) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	-6,65E-13	kg
Chromium [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	-4,22E-09	kg
Chromium [Heavy metals to air]	Mass	4,40E-08	kg
Chromium [Heavy metals to sea water]	Mass	2,80E-08	kg
Chromium [Heavy metals to industrial soil]	Mass	-2,00E-14	kg
Chromium [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,67E-07	kg
Chromium (+III) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,85E-08	kg
Chromium (+III) [Heavy metals to air]	Mass	2,11E-11	kg
Chromium (+III) [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,46E-12	kg
Chromium (+III) [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	1,98E-08	kg
Chromium (+VI) [Heavy metals to air]	Mass	4,14E-15	kg
Chromium (+VI) [Heavy metals to industrial soil]	Mass	2,09E-19	kg
Chromium (+VI) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,64E-10	kg
Chrysene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	1,07E-11	kg
Chrysene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	6,07E-11	kg
Chrysene [Group PAH to air]	Mass	2,34E-12	kg
cis-2-Pentene [Group NMVOC to air]	Mass	1,46E-11	kg
Clean gas [Other emissions to air]	Mass	9,75E-06	kg
Cobalt [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,16E-11	kg
Cobalt [Heavy metals to industrial soil]	Mass	5,82E-12	kg
Cobalt [Heavy metals to air]	Mass	2,16E-08	kg
Cobalt [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	3,36E-19	kg
Cobalt [Heavy metals to sea water]	Mass	-2,41E-14	kg
Cobalt (Co58) [Radioactive emissions to air]	Activity	5,46E-06	Bq
Cobalt (Co58) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00319751	Bq
Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,001406054	Bq
Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	3,53E-05	Bq
Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,52E-06	Bq
Collected rainwater to river [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001251613	kg
Cooling water to river [Other emissions to fresh water]	Mass	0,008184142	kg
Cooling water to river, regionalized, AR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,00038807	kg
Cooling water to river, regionalized, AT [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000133642	kg
Cooling water to river, regionalized, AU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000341252	kg
Cooling water to river, regionalized, BA [Other emissions to fresh water]	Mass	2,72E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, BE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000258493	kg
Cooling water to river, regionalized, BG [Other emissions to fresh water]	Mass	0,00028707	kg
Cooling water to river, regionalized, BR [Other emissions to fresh water]	Mass	27,90595896	kg
Cooling water to river, regionalized, CA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002969913	kg

Cooling water to river, regionalized, CH [Other emissions to fresh water]	Mass	7,82E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, CL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002723953	kg
Cooling water to river, regionalized, CN [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000493956	kg
Cooling water to river, regionalized, CZ [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000171379	kg
Cooling water to river, regionalized, DE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,027340662	kg
Cooling water to river, regionalized, DK [Other emissions to fresh water]	Mass	9,04E-07	kg
Cooling water to river, regionalized, EE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000131867	kg
Cooling water to river, regionalized, ES [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000617656	kg
Cooling water to river, regionalized, FI [Other emissions to fresh water]	Mass	7,28E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, FR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001432711	kg
Cooling water to river, regionalized, GB [Other emissions to fresh water]	Mass	7,14E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, GR [Other emissions to fresh water]	Mass	5,83E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, HU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,0001998	kg
Cooling water to river, regionalized, ID [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000252341	kg
Cooling water to river, regionalized, IE [Other emissions to fresh water]	Mass	1,18E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, IN [Other emissions to fresh water]	Mass	8,47E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, IS [Other emissions to fresh water]	Mass	2,00E-09	kg
Cooling water to river, regionalized, IT [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000269564	kg
Cooling water to river, regionalized, JP [Other emissions to fresh water]	Mass	-5,66E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, KR [Other emissions to fresh water]	Mass	1,72E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, KZ [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001908658	kg
Cooling water to river, regionalized, LT [Other emissions to fresh water]	Mass	6,36E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, LU [Other emissions to fresh water]	Mass	-3,89E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, LV [Other emissions to fresh water]	Mass	8,51E-07	kg
Cooling water to river, regionalized, MK [Other emissions to fresh water]	Mass	2,77E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, MX [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000128766	kg
Cooling water to river, regionalized, MY [Other emissions to fresh water]	Mass	0,083464329	kg
Cooling water to river, regionalized, NG [Other emissions to fresh water]	Mass	0,014762322	kg
Cooling water to river, regionalized, NL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000268667	kg
Cooling water to river, regionalized, NO [Other emissions to fresh water]	Mass	3,90E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, NZ [Other emissions to fresh water]	Mass	-2,84E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, PH [Other emissions to fresh water]	Mass	1,18E-14	kg
Cooling water to river, regionalized, PL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000580547	kg
Cooling water to river, regionalized, PT [Other emissions to fresh water]	Mass	7,60E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, RO [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000134388	kg
Cooling water to river, regionalized, RS [Other emissions to fresh water]	Mass	2,14E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, RU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,005339646	kg
Cooling water to river, regionalized, SE [Other emissions to fresh water]	Mass	1,09E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, SG [Other emissions to fresh water]	Mass	7,14E-07	kg
Cooling water to river, regionalized, SI [Other emissions to fresh water]	Mass	3,11E-05	kg
Cooling water to river, regionalized, SK [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000104302	kg
Cooling water to river, regionalized, TH [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000498302	kg
Cooling water to river, regionalized, TR [Other emissions to fresh water]	Mass	7,10E-06	kg
Cooling water to river, regionalized, UA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000107869	kg
Cooling water to river, regionalized, US [Other emissions to fresh water]	Mass	0,006080403	kg
Cooling water to river, regionalized, VE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000367861	kg

Cooling water to river, regionalized, ZA [Other emissions to fresh water]	Mass	8,79E-05	kg
Cooling water to sea [Other emissions to sea water]	Mass	4,592387098	kg
Copper [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,44E-08	kg
Copper [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	7,03E-09	kg
Copper [Heavy metals to sea water]	Mass	6,80E-09	kg
Copper [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,00E-11	kg
Copper [Heavy metals to air]	Mass	2,50E-08	kg
Cresol (methyl phenol) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	-4,17E-18	kg
Cresol (methyl phenol) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	-5,43E-18	kg
Cumene (isopropylbenzene) [Group NMVOC to air]	Mass	1,33E-13	kg
Curium (Cm alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,15E-08	Bq
Cyanide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,02E-10	kg
Cyanide [Inorganic emissions to sea water]	Mass	6,76E-12	kg
Cyanide (unspecified) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,44E-09	kg
Cyclohexane (hexahydro benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	9,11E-08	kg
Cyclopentane [Group NMVOC to air]	Mass	2,49E-12	kg
Cypermethrin [Pesticides to fresh water]	Mass	1,11E-18	kg
Cypermethrin [Pesticides to air]	Mass	1,78E-17	kg
Cyprodinil (CGA-219417) [Pesticides to air]	Mass	4,00E-16	kg
Cyprodinil (CGA-219417) [Pesticides to fresh water]	Mass	2,50E-17	kg
Decane [Group NMVOC to air]	Mass	8,63E-14	kg
Deltamethrin [Pesticides to fresh water]	Mass	5,55E-15	kg
Deltamethrin [Pesticides to air]	Mass	8,89E-14	kg
Detergent (unspecified) [Other emissions to fresh water]	Mass	4,61E-22	kg
Dibenz(a)anthracene [Group PAH to air]	Mass	5,29E-13	kg
Dicamba [Pesticides to air]	Mass	7,75E-21	kg
Dicamba [Pesticides to fresh water]	Mass	4,87E-22	kg
Dichloroethane (ethylene dichloride) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	1,21E-23	kg
Dichloroethane (ethylene dichloride) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	7,13E-22	kg
Dichloromethane (methylene chloride) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,46E-15	kg
Dichloropropane [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	-1,08E-21	kg
Diethylamine [Group NMVOC to air]	Mass	-1,08E-16	kg
Diflufenican [Pesticides to fresh water]	Mass	5,84E-18	kg
Diflufenican [Pesticides to air]	Mass	9,34E-17	kg
Dimethenamid [Pesticides to air]	Mass	2,30E-20	kg
Dimethenamid [Pesticides to fresh water]	Mass	1,44E-21	kg
Dimethoate [Pesticides to air]	Mass	1,33E-18	kg
Dimethoate [Pesticides to fresh water]	Mass	8,34E-20	kg
Dimethylamine [Group NMVOC to air]	Mass	1,33E-14	kg
Dioxins (unspec.) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,48E-12	kg
Dodecane [Group NMVOC to air]	Mass	4,65E-15	kg
Dust (> PM10) [Particles to air]	Mass	2,02E-05	kg
Dust (PM10) [Particles to air]	Mass	5,74E-08	kg
Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	Mass	5,77E-05	kg
Dust (PM2.5) [Particles to air]	Mass	6,20E-05	kg
Ethane [Group NMVOC to air]	Mass	1,31E-05	kg

Ethanol [Group NMVOC to air]	Mass	2,90E-07	kg
Ethene (ethylene) [Group NMVOC to air]	Mass	4,48E-11	kg
Ethephon [Pesticides to fresh water]	Mass	2,78E-19	kg
Ethephon [Pesticides to air]	Mass	4,45E-18	kg
Ethyl benzene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,81E-08	kg
Ethyl benzene [Group NMVOC to air]	Mass	1,32E-06	kg
Ethyl benzene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,19E-09	kg
Ethylene Glycol [Organic emissions to sea water]	Mass	4,16E-16	kg
Ethylene oxide [Group NMVOC to air]	Mass	4,91E-16	kg
Exhaust [Other emissions to air]	Mass	1,652314447	kg
Fatty methylester [Group NMVOC to air]	Mass	1,56E-16	kg
Fenvalerate [Pesticides to fresh water]	Mass	2,03E-18	kg
Fenvalerate [Pesticides to air]	Mass	3,25E-17	kg
Fipronil [Pesticides to air]	Mass	7,91E-22	kg
Fipronil [Pesticides to fresh water]	Mass	4,95E-23	kg
Fluoranthene [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,31E-12	kg
Fluoranthene [Group NMVOC to air]	Mass	6,16E-12	kg
Fluoranthene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,94E-11	kg
Fluorene [Group NMVOC to air]	Mass	1,96E-11	kg
Fluoride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	4,07E-06	kg
Fluoride [Inorganic emissions to sea water]	Mass	-2,16E-10	kg
Fluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	7,12E-08	kg
Fluoride [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,78E-10	kg
Fluorine [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,61E-10	kg
Fluorine [Inorganic emissions to air]	Mass	4,06E-11	kg
Formaldehyde (methanal) [Group NMVOC to air]	Mass	6,73E-06	kg
Formaldehyde (methanal) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	3,22E-16	kg
Glyphosate [Pesticides to fresh water]	Mass	3,39E-11	kg
Glyphosate [Pesticides to air]	Mass	5,42E-10	kg
Hazardous waste (deposited) [Stockpile goods]	Mass	3,60E-09	kg
Heavy metals to air (unspecified) [Heavy metals to air]	Mass	3,65E-09	kg
Heavy metals to water (unspecified) [Heavy metals to fresh water]	Mass	-4,95E-14	kg
Helium [Inorganic emissions to air]	Mass	-1,63E-11	kg
Heptane (isomers) [Group NMVOC to air]	Mass	3,34E-08	kg
Hexamethylene diamine (HMDA) [Group NMVOC to air]	Mass	-1,35E-18	kg
Hexane (isomers) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	-4,56E-19	kg
Hexane (isomers) [Group NMVOC to air]	Mass	6,29E-08	kg
Hexane (isomers) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	-6,60E-19	kg
Hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	1,69E-15	kg
Hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	4,36E-09	kg
Hydrocarbons (unspecified) [Organic emissions to industrial soil]	Mass	1,46E-15	kg
Hydrocarbons (unspecified) [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	4,70E-07	kg
Hydrocarbons, aromatic [Group NMVOC to air]	Mass	5,78E-08	kg
Hydrocarbons, chloro-/fluoro- [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,68E-13	kg
Hydrocarbons, halogenated [Halogenated organic emissions to air]	Mass	7,72E-16	kg
Hydrogen [Inorganic emissions to air]	Mass	3,11E-07	kg

Hydrogen arsenic (arsine) [Heavy metals to air]	Mass	1,21E-12	kg
Hydrogen bromide (hydrobromic acid) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,48E-13	kg
Hydrogen chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,88E-10	kg
Hydrogen chloride [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00015919	kg
Hydrogen cyanide (prussic acid) [Inorganic emissions to air]	Mass	8,23E-12	kg
Hydrogen cyanide (prussic acid) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	4,35E-18	kg
Hydrogen fluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	1,19E-06	kg
Hydrogen fluoride (hydrofluoric acid) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	7,87E-11	kg
Hydrogen iodide [Inorganic emissions to air]	Mass	7,45E-16	kg
Hydrogen peroxide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,00E-07	kg
Hydrogen phosphorous [Inorganic emissions to air]	Mass	1,07E-12	kg
Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to air]	Mass	2,22E-06	kg
Hydrogen-3, Tritium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	63,28861692	Bq
Hydrogen-3, Tritium [Radioactive emissions to sea water]	Activity	2,409745246	Bq
Hydrogen-3, Tritium [Radioactive emissions to air]	Activity	2,459082736	Bq
Hydroxide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	4,32E-11	kg
Imidacloprid [Pesticides to air]	Mass	8,90E-18	kg
Imidacloprid [Pesticides to fresh water]	Mass	5,56E-19	kg
Indeno[1,2,3-cd]pyrene [Group PAH to air]	Mass	6,32E-13	kg
Inorganic salts and acids (unspecified) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,72E-24	kg
Iodide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	8,48E-19	kg
Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,33E-07	Bq
Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,63E-06	Bq
Iodine (I131) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	0,00032222	Bq
Iodine (I131) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,99E-05	Bq
Iodine (I131) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,000253713	Bq
Ioxynil [Pesticides to air]	Mass	2,89E-16	kg
Ioxynil [Pesticides to fresh water]	Mass	1,81E-17	kg
Iron [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	3,75E-16	kg
Iron [Heavy metals to fresh water]	Mass	0,000435929	kg
Iron [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,23E-10	kg
Iron [Heavy metals to sea water]	Mass	-5,70E-11	kg
Iron [Heavy metals to air]	Mass	6,61E-09	kg
iso-Butane [Group NMVOC to air]	Mass	2,52E-10	kg
iso-Pentane [Group NMVOC to air]	Mass	2,85E-10	kg
Isoprene [Group NMVOC to air]	Mass	3,58E-18	kg
Isopropanol [Group NMVOC to air]	Mass	4,98E-10	kg
Isoproturon [Pesticides to fresh water]	Mass	2,36E-17	kg
Isoproturon [Pesticides to air]	Mass	3,78E-16	kg
Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,76812382	Bq
Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,219409248	Bq
Lanthanum [Heavy metals to air]	Mass	2,94E-19	kg
Lead [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,04E-07	kg
Lead [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,31E-13	kg
Lead [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	2,57E-08	kg
Lead [Heavy metals to sea water]	Mass	5,47E-09	kg

Lead [Heavy metals to air]	Mass	1,11E-07	kg
Lead (Pb210) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,001042291	Bq
Lead dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	1,25E-14	kg
Magnesium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	2,01E-11	kg
Magnesium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	5,36E-09	kg
Magnesium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	3,58E-07	kg
Magnesium chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,14E-11	kg
Mancozeb [Pesticides to air]	Mass	9,38E-10	kg
Mancozeb [Pesticides to fresh water]	Mass	5,86E-11	kg
Manganese [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	2,47E-17	kg
Manganese [Heavy metals to air]	Mass	1,11E-07	kg
Manganese [Heavy metals to sea water]	Mass	9,92E-13	kg
Manganese [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,23E-08	kg
Manganese [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,23E-11	kg
Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000115976	Bq
MCPA [Pesticides to fresh water]	Mass	3,89E-17	kg
MCPA [Pesticides to air]	Mass	6,23E-16	kg
Mecoprop [Pesticides to fresh water]	Mass	2,64E-17	kg
Mecoprop [Pesticides to air]	Mass	4,23E-16	kg
Mercaptan (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	2,91E-12	kg
Mercury [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,94E-10	kg
Mercury [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	1,98E-10	kg
Mercury [Heavy metals to industrial soil]	Mass	4,57E-16	kg
Mercury [Heavy metals to sea water]	Mass	4,72E-11	kg
Mercury [Heavy metals to air]	Mass	8,56E-10	kg
meta-Cresol [Group NMVOC to air]	Mass	8,72E-14	kg
Metal ions (unspecific) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,97E-09	kg
Metals (unspecified) [Particles to fresh water]	Mass	2,29E-13	kg
Metals (unspecified) [Particles to air]	Mass	5,17E-11	kg
Methacrylate [Group NMVOC to air]	Mass	1,01E-15	kg
Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	0,000431403	kg
Methane (biotic) [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	2,19E-05	kg
Methanol [Organic emissions to industrial soil]	Mass	2,90E-11	kg
Methanol [Group NMVOC to air]	Mass	2,99E-06	kg
Methanol [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	6,09E-08	kg
Methomyl [Pesticides to fresh water]	Mass	3,93E-13	kg
Methomyl [Pesticides to air]	Mass	6,29E-12	kg
Methyl bromide [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,02E-18	kg
Methyl cyclopentane [Group NMVOC to air]	Mass	5,08E-12	kg
Methyl methacrylate (MMA) [Group NMVOC to air]	Mass	4,49E-13	kg
Methyl tert-butylether [Group NMVOC to air]	Mass	1,43E-11	kg
Molybdenum [Heavy metals to sea water]	Mass	-1,60E-18	kg
Molybdenum [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	2,02E-18	kg
Molybdenum [Heavy metals to air]	Mass	4,09E-10	kg
Molybdenum [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,07E-08	kg
Naphthalene [Organic emissions to sea water]	Mass	1,84E-09	kg

Naphthalene [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	1,04E-08	kg
Naphthalene [Group PAH to air]	Mass	7,12E-08	kg
n-Butyl acetate [Group NMVOC to air]	Mass	1,58E-17	kg
Nickel [Heavy metals to industrial soil]	Mass	5,15E-11	kg
Nickel [Heavy metals to sea water]	Mass	1,01E-08	kg
Nickel [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,26E-07	kg
Nickel [Heavy metals to air]	Mass	6,14E-07	kg
Nickel [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	4,91E-09	kg
Nitrate [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,34E-08	kg
Nitrate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,000286946	kg
Nitrate (as total N) [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,38E-17	kg
Nitric acid [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	9,94E-15	kg
Nitric acid [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	7,00E-23	kg
Nitrite [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,90E-12	kg
Nitrite [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,95E-11	kg
Nitrogen [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,04E-12	kg
Nitrogen [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,45E-07	kg
Nitrogen (as total N) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,37E-09	kg
Nitrogen (as total N) [Inorganic emissions to sea water]	Mass	4,96E-18	kg
Nitrogen (atmospheric nitrogen) [Inorganic emissions to air]	Mass	2,08E-05	kg
Nitrogen (N-compounds) [Inorganic emissions to air]	Mass	9,13E-13	kg
Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	9,38E-08	kg
Nitrogen monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	2,79E-06	kg
Nitrogen organic bound [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,19E-05	kg
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,000760094	kg
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	7,00E-14	kg
Nitrogen, total [Inorganic emissions to air]	Mass	2,26E-12	kg
Nitrogenous Matter (unspecified, as N) [Analytical measures to sea water]	Mass	9,23E-10	kg
Nitrogenous Matter (unspecified, as N) [Analytical measures to fresh water]	Mass	7,47E-09	kg
Nitrogentrifluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	2,83E-12	kg
Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	1,13E-05	kg
NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	3,11E-05	kg
Nonane [Group NMVOC to air]	Mass	2,28E-14	kg
Octane [Group NMVOC to air]	Mass	1,84E-08	kg
Oil (unspecified) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,00E-07	kg
Oil (unspecified) [Organic emissions to industrial soil]	Mass	1,77E-13	kg
Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	2,72E-06	kg
Organic chlorine compounds [Halogenated organic emissions to air]	Mass	-6,22E-18	kg
Organic chlorine compounds (unspecified) [Organic emissions to fresh water]	Mass	9,75E-18	kg
Organic compounds (dissolved) [Organic emissions to fresh water]	Mass	1,20E-12	kg
Organic compounds (unspecified) [Organic emissions to fresh water]	Mass	1,88E-07	kg
Overburden (deposited) [Stockpile goods]	Mass	0,31214277	kg
Oxygen [Inorganic emissions to air]	Mass	2,01E-05	kg
Palladium [Heavy metals to air]	Mass	1,54E-19	kg
para-Cresol [Group NMVOC to air]	Mass	8,62E-14	kg
Parathion-methyl [Pesticides to fresh water]	Mass	8,17E-16	kg

Parathion-methyl [Pesticides to air]	Mass	1,31E-14	kg
Pentachlorophenol (PCP) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	2,66E-15	kg
Pentane (n-pentane) [Group NMVOC to air]	Mass	3,96E-06	kg
Phenanthrene [Group PAH to air]	Mass	6,23E-11	kg
Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	3,36E-07	kg
Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	5,92E-08	kg
Phenol (hydroxy benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	7,10E-07	kg
Phosphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,26E-06	kg
Phosphorus [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	4,46E-11	kg
Phosphorus [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	7,83E-08	kg
Phosphorus [Inorganic emissions to sea water]	Mass	7,89E-13	kg
Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,32E-08	Bq
Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to air]	Activity	-1,82E-11	Bq
Polonium (Po210) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,001563436	Bq
Polychlorinated biphenyls (PCB unspecified) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	-8,33E-10	kg
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TCDD) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	7,08E-24	kg
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TCDD) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	4,15E-13	kg
Polychlorinated dibenzo-p-furans (2,3,7,8 - TCDD) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,75E-12	kg
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, carcinogenic) [Group PAH to air]	Mass	2,12E-08	kg
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec.) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	9,89E-12	kg
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec.) [Group PAH to air]	Mass	4,54E-12	kg
Polycyclic aromatic hydrocarbons (unspecified) [Organic emissions to industrial soil]	Mass	9,08E-12	kg
Potassium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	4,30E-06	kg
Potassium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	4,27E-11	kg
Potassium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,97E-15	kg
Processed water to groundwater [Other emissions to fresh water]	Mass	5,90E-05	kg
Processed water to river [Other emissions to fresh water]	Mass	0,038733578	kg
Processed water to river, regionalized, AU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,0020457	kg
Processed water to river, regionalized, BA [Other emissions to fresh water]	Mass	6,05E-07	kg
Processed water to river, regionalized, BG [Other emissions to fresh water]	Mass	7,52E-06	kg
Processed water to river, regionalized, BR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000140492	kg
Processed water to river, regionalized, CA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001203343	kg
Processed water to river, regionalized, CL [Other emissions to fresh water]	Mass	3,97E-06	kg
Processed water to river, regionalized, CN [Other emissions to fresh water]	Mass	0,00015926	kg
Processed water to river, regionalized, CO [Other emissions to fresh water]	Mass	0,007545938	kg
Processed water to river, regionalized, CZ [Other emissions to fresh water]	Mass	3,61E-05	kg
Processed water to river, regionalized, DE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,008082091	kg
Processed water to river, regionalized, EE [Other emissions to fresh water]	Mass	4,19E-09	kg
Processed water to river, regionalized, ES [Other emissions to fresh water]	Mass	2,62E-06	kg
Processed water to river, regionalized, FI [Other emissions to fresh water]	Mass	1,52E-05	kg
Processed water to river, regionalized, FR [Other emissions to fresh water]	Mass	1,24E-07	kg
Processed water to river, regionalized, GB [Other emissions to fresh water]	Mass	2,70E-06	kg
Processed water to river, regionalized, GR [Other emissions to fresh water]	Mass	1,15E-05	kg
Processed water to river, regionalized, HU [Other emissions to fresh water]	Mass	2,28E-06	kg
Processed water to river, regionalized, ID [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000222022	kg
Processed water to river, regionalized, IE [Other emissions to fresh water]	Mass	1,87E-07	kg

Processed water to river, regionalized, IN [Other emissions to fresh water]	Mass	4,97E-06	kg
Processed water to river, regionalized, IT [Other emissions to fresh water]	Mass	2,68E-08	kg
Processed water to river, regionalized, KR [Other emissions to fresh water]	Mass	9,05E-09	kg
Processed water to river, regionalized, KZ [Other emissions to fresh water]	Mass	1,10E-07	kg
Processed water to river, regionalized, MK [Other emissions to fresh water]	Mass	6,26E-07	kg
Processed water to river, regionalized, MX [Other emissions to fresh water]	Mass	2,47E-07	kg
Processed water to river, regionalized, MY [Other emissions to fresh water]	Mass	0,076834569	kg
Processed water to river, regionalized, NL [Other emissions to fresh water]	Mass	1,80E-14	kg
Processed water to river, regionalized, NO [Other emissions to fresh water]	Mass	1,74E-06	kg
Processed water to river, regionalized, NZ [Other emissions to fresh water]	Mass	6,44E-07	kg
Processed water to river, regionalized, PL [Other emissions to fresh water]	Mass	6,62E-05	kg
Processed water to river, regionalized, RO [Other emissions to fresh water]	Mass	8,96E-06	kg
Processed water to river, regionalized, RS [Other emissions to fresh water]	Mass	1,11E-06	kg
Processed water to river, regionalized, RU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002521722	kg
Processed water to river, regionalized, SE [Other emissions to fresh water]	Mass	2,14E-08	kg
Processed water to river, regionalized, SI [Other emissions to fresh water]	Mass	1,39E-06	kg
Processed water to river, regionalized, SK [Other emissions to fresh water]	Mass	4,82E-07	kg
Processed water to river, regionalized, TH [Other emissions to fresh water]	Mass	3,40E-06	kg
Processed water to river, regionalized, TR [Other emissions to fresh water]	Mass	6,55E-07	kg
Processed water to river, regionalized, UA [Other emissions to fresh water]	Mass	2,43E-06	kg
Processed water to river, regionalized, US [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002695217	kg
Processed water to river, regionalized, VE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000609055	kg
Processed water to river, regionalized, VN [Other emissions to fresh water]	Mass	7,95E-07	kg
Processed water to river, regionalized, ZA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000197657	kg
Processed water to sea [Other emissions to sea water]	Mass	0,00035645	kg
Propane [Group NMVOC to air]	Mass	1,21E-05	kg
Propene (propylene) [Group NMVOC to air]	Mass	1,24E-07	kg
Propionic acid (propane acid) [Group NMVOC to air]	Mass	7,40E-13	kg
Propylene glycol methyl ether acetate [Group NMVOC to air]	Mass	1,62E-10	kg
Protactinium (Pa234m) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,28E-07	Bq
Protactinium (Pa234m) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,002001943	Bq
R 116 (hexafluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,56E-11	kg
R 124 (chlorotetrafluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	3,41E-22	kg
R 125 (pentafluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,91E-11	kg
R 13 (chlorotrifluoromethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	-1,72E-14	kg
R 134a (tetrafluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,18E-11	kg
R 143 (trifluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,70E-11	kg
R 23 (trifluoromethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,31E-10	kg
R 245fa (1,1,1,3,3-Pentafluoropropane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	3,39E-10	kg
R 32 (difluoromethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	2,86E-12	kg
Radium (Ra224) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	4,24E-16	Bq
Radium (Ra226) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,004402996	Bq
Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,215927705	Bq
Radium (Ra228) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	8,48E-16	Bq
Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	318,1367118	Bq
Rhodium [Heavy metals to air]	Mass	1,48E-19	kg

Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	8,90E-06	Bq
Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	0,000991444	Bq
Scandium [Heavy metals to air]	Mass	-1,58E-17	kg
Selenium [Heavy metals to air]	Mass	2,21E-08	kg
Selenium [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,92E-09	kg
Selenium [Heavy metals to industrial soil]	Mass	1,30E-14	kg
Silicate particles [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	6,72E-13	kg
Silicium tetrafluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	4,92E-13	kg
Silicon dioxide (silica) [Particles to fresh water]	Mass	1,93E-12	kg
Silicon dioxide (silica) [Particles to air]	Mass	2,17E-12	kg
Silver [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,73E-11	kg
Silver [Heavy metals to air]	Mass	2,30E-11	kg
Silver [Heavy metals to sea water]	Mass	-4,74E-18	kg
Silver (Ag110m) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000582062	Bq
Slag (deposited) [Stockpile goods]	Mass	1,06E-13	kg
Sodium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	3,83E-11	kg
Sodium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	6,13E-07	kg
Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	3,02E-05	kg
Sodium chloride (rock salt) [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,90E-08	kg
Sodium hypochlorite [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	9,00E-08	kg
Sodium sulphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,40E-06	kg
Soil loss by erosion into water [Particles to fresh water]	Mass	0,003330568	kg
Solids (dissolved) [Analytical measures to fresh water]	Mass	8,78E-08	kg
Solids (suspended) [Particles to sea water]	Mass	2,44E-05	kg
Solids (suspended) [Particles to fresh water]	Mass	0,000115723	kg
Spoil (deposited) [Stockpile goods]	Mass	0,026089802	kg
Strontium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	7,75E-08	kg
Strontium [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	-1,40E-11	kg
Strontium [Inorganic emissions to air]	Mass	-5,75E-16	kg
Strontium [Inorganic emissions to sea water]	Mass	6,36E-10	kg
Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	4,98E-05	Bq
Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	8,90E-06	Bq
Styrene [Group NMVOC to air]	Mass	6,00E-07	kg
Sulfate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	9,86E-05	kg
Sulphate [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	4,11E-12	kg
Sulphate [Inorganic emissions to sea water]	Mass	4,14E-06	kg
Sulphide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,01E-05	kg
Sulphide [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	2,39E-11	kg
Sulphide [Inorganic emissions to sea water]	Mass	1,79E-06	kg
Sulphite [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	3,24E-09	kg
Sulphur [Inorganic emissions to air]	Mass	1,05E-10	kg
Sulphur [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,02E-13	kg
Sulphur [Inorganic emissions to agricultural soil]	Mass	4,51E-16	kg
Sulphur [Inorganic emissions to industrial soil]	Mass	1,60E-12	kg
Sulphur [Inorganic emissions to sea water]	Mass	2,29E-12	kg
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,001542205	kg

Sulphur hexafluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	2,27E-16	kg
Sulphur trioxide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	6,54E-10	kg
Sulphur trioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	2,10E-08	kg
Sulphuric acid [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,98E-10	kg
Sulphuric acid [Inorganic emissions to air]	Mass	1,24E-10	kg
Tailings (deposited) [Stockpile goods]	Mass	0,003284077	kg
Tantalum [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,62E-15	kg
Tellurium [Heavy metals to air]	Mass	8,04E-12	kg
Terbufos [Pesticides to air]	Mass	8,74E-21	kg
Terbufos [Pesticides to fresh water]	Mass	5,46E-22	kg
Tetrachloroethene (perchloroethylene) [Halogenated organic emissions to sea water]	Mass	1,46E-20	kg
Tetrachloroethene (perchloroethylene) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	2,34E-21	kg
Tetrachloroethene (perchloroethylene) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	3,54E-17	kg
Tetrafluoromethane [Halogenated organic emissions to air]	Mass	1,27E-10	kg
Thallium [Heavy metals to fresh water]	Mass	5,09E-13	kg
Thallium [Heavy metals to air]	Mass	3,55E-12	kg
Thiram [Pesticides to air]	Mass	1,47E-13	kg
Thiram [Pesticides to fresh water]	Mass	9,19E-15	kg
Thorium (Th228) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,70E-15	Bq
Thorium (Th230) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,139863942	Bq
Thorium (Th230) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,001563524	Bq
Thorium (Th234) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,002001943	Bq
Thorium (Th234) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,51E-07	Bq
Tin [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	5,39E-16	kg
Tin [Heavy metals to air]	Mass	8,33E-08	kg
Tin [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,31E-13	kg
Tin [Heavy metals to sea water]	Mass	-5,68E-18	kg
Tin oxide [Inorganic emissions to air]	Mass	-9,46E-20	kg
Titanium [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,02E-09	kg
Titanium [Heavy metals to sea water]	Mass	-5,78E-19	kg
Titanium [Heavy metals to air]	Mass	9,95E-12	kg
Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	3,56E-08	kg
Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	1,39E-06	kg
Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	2,02E-07	kg
Total dissolved organic bound carbon (TOC) [Analytical measures to fresh water]	Mass	3,65E-11	kg
Total organic bound carbon (TOC) [Analytical measures to fresh water]	Mass	3,02E-07	kg
Total organic bound carbon (TOC) [Analytical measures to sea water]	Mass	3,07E-08	kg
Total organic carbon [Other emissions to air]	Mass	3,10E-11	kg
trans-2-Butene [Group NMVOC to air]	Mass	1,10E-11	kg
trans-2-Pentene [Group NMVOC to air]	Mass	2,73E-11	kg
Trichlorfon [Pesticides to air]	Mass	1,76E-11	kg
Trichlorfon [Pesticides to fresh water]	Mass	1,10E-12	kg
Trichloroethene (isomers) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	2,38E-11	kg
Trichloromethane (chloroform) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	3,54E-17	kg
Triethylene glycol [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	4,65E-19	kg
Trifluralin [Pesticides to air]	Mass	3,67E-09	kg

Trifluralin [Pesticides to fresh water]	Mass	2,29E-10	kg
Tungsten [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,77E-11	kg
Turbined water to river [Other emissions to fresh water]	Mass	87,1233164	kg
Turbined water to river, regionalized, AR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,006376296	kg
Turbined water to river, regionalized, AT [Other emissions to fresh water]	Mass	0,253649419	kg
Turbined water to river, regionalized, AU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,009813606	kg
Turbined water to river, regionalized, BA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002707922	kg
Turbined water to river, regionalized, BE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000885435	kg
Turbined water to river, regionalized, BG [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000969116	kg
Turbined water to river, regionalized, BR [Other emissions to fresh water]	Mass	889,5304567	kg
Turbined water to river, regionalized, CA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,140882153	kg
Turbined water to river, regionalized, CH [Other emissions to fresh water]	Mass	0,030553557	kg
Turbined water to river, regionalized, CL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,020745287	kg
Turbined water to river, regionalized, CN [Other emissions to fresh water]	Mass	0,021149994	kg
Turbined water to river, regionalized, CZ [Other emissions to fresh water]	Mass	0,013442847	kg
Turbined water to river, regionalized, DE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,765295978	kg
Turbined water to river, regionalized, DK [Other emissions to fresh water]	Mass	3,86E-05	kg
Turbined water to river, regionalized, EE [Other emissions to fresh water]	Mass	7,53E-05	kg
Turbined water to river, regionalized, ES [Other emissions to fresh water]	Mass	0,004913955	kg
Turbined water to river, regionalized, FI [Other emissions to fresh water]	Mass	0,009044762	kg
Turbined water to river, regionalized, FR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,171189933	kg
Turbined water to river, regionalized, GB [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000676173	kg
Turbined water to river, regionalized, GR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000318983	kg
Turbined water to river, regionalized, HU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000548728	kg
Turbined water to river, regionalized, ID [Other emissions to fresh water]	Mass	0,003555138	kg
Turbined water to river, regionalized, IE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000353326	kg
Turbined water to river, regionalized, IN [Other emissions to fresh water]	Mass	0,008371861	kg
Turbined water to river, regionalized, IS [Other emissions to fresh water]	Mass	5,67E-05	kg
Turbined water to river, regionalized, IT [Other emissions to fresh water]	Mass	0,047618904	kg
Turbined water to river, regionalized, JP [Other emissions to fresh water]	Mass	-	kg
Turbined water to river, regionalized, KR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000271116	kg
Turbined water to river, regionalized, KZ [Other emissions to fresh water]	Mass	0,043689886	kg
Turbined water to river, regionalized, LT [Other emissions to fresh water]	Mass	5,72E-05	kg
Turbined water to river, regionalized, LU [Other emissions to fresh water]	Mass	-	kg
Turbined water to river, regionalized, LV [Other emissions to fresh water]	Mass	0,006034623	kg
Turbined water to river, regionalized, MK [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000876838	kg
Turbined water to river, regionalized, MX [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000658515	kg
Turbined water to river, regionalized, MY [Other emissions to fresh water]	Mass	2,285931597	kg
Turbined water to river, regionalized, NG [Other emissions to fresh water]	Mass	0,768161605	kg
Turbined water to river, regionalized, NL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000471515	kg
Turbined water to river, regionalized, NO [Other emissions to fresh water]	Mass	0,178786717	kg
Turbined water to river, regionalized, NZ [Other emissions to fresh water]	Mass	-	kg
Turbined water to river, regionalized, PH [Other emissions to fresh water]	Mass	4,81E-13	kg
Turbined water to river, regionalized, PL [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000175981	kg
Turbined water to river, regionalized, PT [Other emissions to fresh water]	Mass	0,006052753	kg

Turbined water to river, regionalized, RO [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001944121	kg
Turbined water to river, regionalized, RS [Other emissions to fresh water]	Mass	0,002041561	kg
Turbined water to river, regionalized, RU [Other emissions to fresh water]	Mass	0,604035775	kg
Turbined water to river, regionalized, SE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,05006626	kg
Turbined water to river, regionalized, SI [Other emissions to fresh water]	Mass	0,01748581	kg
Turbined water to river, regionalized, SK [Other emissions to fresh water]	Mass	0,001764726	kg
Turbined water to river, regionalized, TH [Other emissions to fresh water]	Mass	0,004819291	kg
Turbined water to river, regionalized, TR [Other emissions to fresh water]	Mass	0,000941711	kg
Turbined water to river, regionalized, UA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,00062843	kg
Turbined water to river, regionalized, US [Other emissions to fresh water]	Mass	0,074487217	kg
Turbined water to river, regionalized, VE [Other emissions to fresh water]	Mass	0,005952321	kg
Turbined water to river, regionalized, ZA [Other emissions to fresh water]	Mass	0,009552652	kg
Unused primary energy from geothermal [Other emissions to fresh water]	Energy (net calorific value)	7,55E-11	MJ
Unused primary energy from hydro power [Other emissions to fresh water]	Energy (net calorific value)	0,493383015	MJ
Unused primary energy from solar energy [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	0,003537038	MJ
Unused primary energy from wind power [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	0,224481206	MJ
Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00073516	Bq
Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity	-1,88E-07	Bq
Uranium (U234) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	2,93E-06	Bq
Uranium (U234) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,055617255	Bq
Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,004096801	Bq
Uranium (U235) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,000375125	Bq
Uranium (U235) [Radioactive emissions to air]	Activity	7,37E-05	Bq
Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,055201528	Bq
Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,01547795	Bq
Uranium (U238) [Radioactive emissions to sea water]	Activity	2,93E-06	Bq
Used air [Other emissions to air]	Mass	0,001620544	kg
Vanadium [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	2,02E-18	kg
Vanadium [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,49E-09	kg
Vanadium [Heavy metals to sea water]	Mass	1,23E-13	kg
Vanadium [Heavy metals to air]	Mass	2,25E-06	kg
Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic emissions to fresh water]	Mass	9,65E-15	kg
Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	4,94E-13	kg
Waste (deposited) [Stockpile goods]	Mass	0,001679205	kg
Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	1,720066115	MJ
Waste heat [Other emissions to sea water]	Energy (net calorific value)	0,057331628	MJ
Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net calorific value)	1,403077673	MJ
Water (evapotranspiration) [Inorganic emissions to air]	Mass	19,38179051	kg
Water vapour [Inorganic emissions to air]	Mass	21,67506795	kg
Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,179792343	Bq
Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	5,275751076	Bq
Xenon (Xe133m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,129655965	Bq
Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,885925403	Bq

Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,012687519	Bq
Xenon (Xe137) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,018618495	Bq
Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,019833501	Bq
Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	5,79E-06	kg
Xylene (isomers; dimethyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	7,21E-08	kg
Xylene (isomers; dimethyl benzene) [Hydrocarbons to sea water]	Mass	1,27E-08	kg
Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene) [Group NMVOC to air]	Mass	3,71E-12	kg
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene) [Group NMVOC to air]	Mass	3,60E-13	kg
Zinc [Heavy metals to agricultural soil]	Mass	4,46E-09	kg
Zinc [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,06E-08	kg
Zinc [Heavy metals to air]	Mass	7,15E-08	kg
Zinc [Heavy metals to industrial soil]	Mass	3,06E-12	kg
Zinc [Heavy metals to sea water]	Mass	3,19E-10	kg
Zinc chloride [Inorganic emissions to air]	Mass	3,04E-21	kg
Zinc oxide [Inorganic emissions to air]	Mass	-1,89E-19	kg
Zinc sulphate [Inorganic emissions to air]	Mass	2,54E-11	kg