



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR - CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL - UACTA

MARINA DE OLIVEIRA BATISTA

**ENERGIA EM TEMPO DE DESCARBONIZAÇÃO: UMA REVISÃO COM
FOCO NA ECONOMIA SUSTENTÁVEL**

POMBAL – PB

2023

MARINA DE OLIVEIRA BATISTA

**ENERGIA EM TEMPO DE DESCARBONIZAÇÃO: UMA REVISÃO COM
FOCO NA ECONOMIA SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, como requisitos
necessários para a obtenção de título
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Virgínia de Fátima
Bezerra Nogueira.

POMBAL-PB
2023

B333e Batista, Marina de Oliveira.

Energia em tempo de descarbonização: uma revisão com foco na economia sustentável / Marina de Oliveira Batista. – Pombal, 2023.
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra”
Nogueira”.

Referências.

1. Sustentabilidade. 2. Dióxido de carbono. 3. Selos verdes. I. Nogueira, Virginia de Fátima Bezerra. II. Título.

CDU 502.131.1 (043)

Marina de Oliveira Batista

**ENERGIA EM TEMPO DE DESCARBONIZAÇÃO: UMA REVISÃO COM
FOCO NA ECONOMIA SUSTENTAVÉL**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
VIRGINIA DE FATIMA BEZERRA NOGUEIRA
Data: 24/11/2023 09:34:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Virgínia de Fátima Bezerra

Nogueira Orientadora

CCTA/UFCG/Campus de Pombal – PB



Documento assinado digitalmente
RENILTON CORREIA DA COSTA
Data: 24/11/2023 09:23:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renilton Correia da Costa

Examinador Interno - CCTA/UFCG/Campus de Pombal – PB



Documento assinado digitalmente
MARIA DE FATIMA ARAUJO ALVES
Data: 24/11/2023 09:16:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Msc. Maria de Fátima Araújo

Alves Examinador Externo – Engenheira

Ambiental pelo CCTA

Pombal, 24 de agosto de 2023

Dedico este trabalho de todo coração *in memoriam* ao meu pai Antenor Batista Filho e a minha avó Maria Alves de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, antes de tudo, pelo dom da vida, e por ter sido minha fortaleza durante os dias de minha graduação, a ele toda honra e louvor.

Á minha família, Raimunda de Oliveira Batista e aos meus irmãos Mariana e Maxwell, por não medirem esforços para me manterem firme neste sonho, obrigada por todo amor, carinho e por acreditarem sempre em mim. Não tenho palavras suficientes para agradecer tudo que fazem por mim.

Á Alex Nunes e Layana Nunes, meus irmãos em Cristo, agradeço por serem meu apoio quando a dificuldade de morar em outra cidade quis assustar o meu sonho, agradeço por me receberem na casa de vocês sempre com enorme alegria. Vocês são pessoas especiais.

Aos meus amigos que conquistei na graduação, Aline Rodrigues, Anne Sales, Alesia Alves, Bruno Medeiros, Celsulla Dantas, Denilson Gualberto, Éllida Dantas, Francisco de Assis, Layne Rebheca, Moana Fernades e Priscila Genovez, por toda fraternidade, apoio, e por não medirem amor em me ajudar em meus dias de dificuldades e durante a realização deste trabalho, sou muito grata por ter vocês na minha vida.

Á minha orientadora Prof^a. Dr^a. Virgínia de Fátima Nogueira pela dedicação, paciência e por todo acolhimento durante o desenvolvimento deste e demais trabalhos já realizados. Tenho uma enorme admiração e gratidão por tudo.

BATISTA, M. O. Energia em tempo de descarbonização: uma revisão com foco na economia sustentável. 2023. 66 fls. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Pombal - PB, 2023.

RESUMO

Com o avanço tecnológico a escala da produção industrial aumentou, levando a um aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Essas alterações climáticas têm influência direta do homem e estão associadas a queima de combustíveis fósseis (de automóveis, indústria, centrais térmicas), incêndios florestais, desflorestação, decomposição de resíduos etc. Diante disso, o estudo objetivou avaliar tecnicamente, por meio de revisão de literatura, as metodologias de descarbonização utilizadas por países e empresas emissoras de gases de efeito estufa (GEE) e como conseguir o selo verde na execução de suas atividades. Foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo, que foi realizada tendo base como a pesquisa em livros, artigos científicos (originais, de revisão bibliográfica e de estudo de caso), teses, dissertações, e conteúdo de sites de órgão oficiais na internet, sendo eles no formato digital e/ou físico. As metodologias de descarbonização abordadas foram: Energias Renováveis; Eficiência Energética e Eletrificação; Captura, Armazenamento e Comercialização de Carbono; Biocombustíveis; Plano de Agricultura de Baixo Carbono; Florestamento e Reflorestamento; Transporte Público e Mobilidade Urbana; Tecnologia de Hidrogênio Limpo. O principal objetivo almejado por empresas em busca da Certificação Ambiental é assegurar a qualidade ambiental em todas as fases de seu processo de produção, abrangendo desde a fabricação até o transporte e a comercialização. Empresas que buscam certificações verdes geralmente já implementaram a gestão ambiental por meio de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Para obter selos verdes, é imperativo que essas empresas estejam em total conformidade com a legislação ambiental e atendam aos requisitos exigidos. De acordo com as informações levantadas foi possível analisar a situação atual e os desafios enfrentados pelos setores supracitados, bem como as perspectivas e metas para o futuro no Brasil e no mundo.

Palavras Chaves: Sustentabilidade. Dióxido de Carbono. Selos Verdes.

BATISTA, M. O. **Energy in times of decarbonization: a review focusing on the sustainable economy.** 2023. 66 pages. Monograph (Environmental Engineering) – Federal University of Campina Grande. Pombal - PB, 2023.

ABSTRACT

With technological advancement, the scale of industrial production has increased, leading to an increase in greenhouse gas emissions into the atmosphere. These climate changes are directly influenced by man and are associated with the burning of fossil fuels (from cars, industry, thermal power plants), forest fires, deforestation, decomposition of waste, etc. Given this, the study aimed to technically evaluate, through a literature review, the decarbonization methodologies used by countries and companies emitting greenhouse gases (GHG) and how to achieve the green seal when carrying out their activities. A qualitative bibliographical review was carried out, which was carried out based on research in books, scientific articles (original, bibliographical review and case study), theses, dissertations, and content from official body websites on the internet, being them in digital and/or physical format. The decarbonization methodologies covered were: Renewable Energy; Energy Efficiency and Electrification; Carbon Capture, Storage and Trading; Biofuels; Low Carbon Agriculture Plan; Afforestation and Reforestation; Public Transport and Urban Mobility; Clean Hydrogen Technology. The main objective sought by companies seeking Environmental Certification is to ensure environmental quality in all phases of their production process, ranging from manufacturing to transportation and marketing. Companies seeking green certifications have generally already implemented environmental management through an Environmental Management System (EMS). To obtain green seals, it is imperative that these companies are in full compliance with environmental legislation and meet the required requirements. According to the information collected, it was possible to analyze the current situation and challenges faced by the aforementioned sectors, as well as the perspectives and goals for the future in Brazil and the world.

Keywords: Sustainability. Carbon Dioxide. Green Stamps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Biológico do Carbono.	17
Figura 2. Ciclo Geológico do Carbono.....	17
Figura 3. Informações sobre a eficiência energética de refrigerador.....	29
Figura 4. Selo Procel.	29
Figura 5. Metas de redução de GEE projetadas para o ano de 2030 de acordo com o Plano ABC+.....	37
Figura 6. Arco-íris da classificação do hidrogênio em escala de cores.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela com a Cronologia das Conferências das Partes.	19
Tabela 2. Tabela com indicadores de energia renovável entre os anos de 2019 e 2021 e a capacidade global de energia entre diferentes setores de energia renovável.	25
Tabela 3. Emissões por tipo de tecnologia fotovoltaica.	26
Tabela 4. Principais diferenças entre Plano de Transporte Tradicional e Plano de Mobilidade Urbana Sustentável.	40
Tabela 5. Poder calorífico inferior dos combustíveis por unidade de massa (MJ/kg) de diversos combustíveis.	43
Tabela 6. Desafios e perspectivas das metodologias de descarbonização.	46
Tabela 7. Certificações verdes e suas descrições.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Mudanças Climáticas.....	15
3.2 Ciclo do Carbono.....	15
3.3 Descarbonização.....	18
3.4 Histórico da política de descarbonização	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1 Principais metodologias de descarbonização	23
5.1.1. <i>Energias Renováveis</i>	23
5.1.2. <i>Eficiência Energética e Eletrificação</i>	27
5.1.3. <i>Captura, Armazenamento e comercialização de Carbono</i>	30
5.1.4. <i>Biocombustíveis</i>	33
5.1.5. <i>Plano Agricultura de Baixo Carbono</i>	35
5.1.6. <i>Florestamento e Reflorestamento</i>	37
5.1.7. <i>Transporte público e Mobilidade Sustentável</i>	38
5.1.8. <i>Tecnologia de Hidrogênio Limpo</i>	42
5.2 Desafios e perspectivas das técnicas de descarbonização	46
5.3 Certificação Ambiental: Selo Verde.....	51
6. CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	-	Agropecuária de Baixo Carbono		
CBios	-	Créditos de Descarbonização		
CCUS	-	<i>Carbon Capture Utilisation and Storage</i>		
CND	-	Contribuição Nacionalmente Determinada		
CNTP	-	Condições Normais de Temperatura e Pressão		
EPE	-	Empresa de Pesquisa Energética		
FBN	-	Fixação Biológica de Nitrogênio		
FCEV	-	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>		
GEE	-	Gases do Efeito Estufa		
HEV	-	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>		
IEA	-	Agência Internacional de Energia		
IEI	-	<i>International Energy Initiative</i>		
ILP	-	Integração Lavoura Pecuária		
ILPF	-	Integração Lavoura Pecuária Floresta		
IMT	-	Instituto da Mobilidade e dos Transportes		
IPCC	-	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>		
MAPA	-	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento		
MDL	-	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo		
MME	-	Ministério de Minas e Energia		
PBE	-	Programa Brasileiro de Etiquetagem		
PIB	-	Produto Interno Bruto		
PMUS	-	Planos de Mobilidade Urbana Sustentável		
PNMU	-	Política Nacional de Mobilidade Urbana		
PV	-	Células Fotovoltaicas		
RCEs	-	Reduções Certificadas de Emissão		
REN21	-	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st century</i>		
RenovaBio	-	Política Nacional de Biocombustíveis		
SAFs	-	Sistemas Agroflorestais		
SDI	-	Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação		
SGA	-	Sistema de Gestão Ambiental		
SPD	-	Sistema Plantio Direto		
TRL	-	<i>Technology</i>	<i>Readiness</i>	<i>Level</i>

1. INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial no final do século XVIII e na segunda metade do século XX com o avanço tecnológico a escala da produção industrial aumentou, levando a um aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Essas alterações climáticas têm influência direta do homem e estão associadas a queima de combustíveis fósseis (de automóveis, indústria, centrais térmicas), incêndios florestais, deflorestação, decomposição de resíduos etc. (INPE, 2017).

Os maiores desafios ambientais, sobretudo as alterações climáticas ou a poluição dos oceanos, têm uma abrangência universal e, como consequência, necessitam de ser abordados numa perspectiva global requerendo a maior cooperação internacional para a procura de soluções integradoras e em conjunto, tal como preconizam as metas da ONU para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2020).

As projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC- *The Intergovernmental Panel on Climate Change*) indicam que nos próximos 100 anos poderá haver um aumento da temperatura média global entre 1,8°C e 4,0°C, e um aumento do nível médio do mar entre 0,18 m e 0,59 m, o que pode afetar significativamente as atividades humanas e os ecossistemas terrestres. (INPE, 2023).

Os objetivos da ONU para este milênio vista a promoção da sustentabilidade global. O aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono, foram responsáveis pelo aumento da temperatura da Terra. Na atualidade, a busca por produção sem a emissão de carbono é a melhor alternativa para mitigar as emissões de GEE (ARAÚJO, SILVA E RIBEIRO, 2020).

Segundo Araújo, Silva e Ribeiro (2020), especialmente no que diz respeito à descarbonização e adoção de práticas sustentáveis, é necessário fortalecer e promover a participação dos cidadãos na ciência e tecnologia, e assim envolvê-los no diagnóstico, na definição de boas práticas e mudanças de hábitos para que este propósito venha se tornar realidade.

A humanidade precisa de soluções de descarbonização necessárias para evitar uma meta de aquecimento global de +2 Graus Celsius, isso exige investimentos significativos em tecnologia de engenharia e capital humano. Uma tecnologia proposta é o hidrogênio verde. O hidrogênio como combustível é visto como peça importante para o futuro neutro em carbono. Mas sua transformação de gás em combustível demanda

uma grande quantidade de energia. Portanto, é importante prestar atenção na fonte dessa energia para que o produto seja o chamado hidrogênio verde (GEELS *et al.*, 2017).

O Brasil pode se posicionar como exportador de commodities, como a carne bovina e o minério de ferro, e também como baixo carbono, além de agregar valor à sua balança comercial e beneficiar reindustrialização mais sustentável (PEIXOTO, 2023).

Em tempos de mudanças climáticas há a necessidade de reunir informações relevantes sobre técnicas e metodologias que possam ser mais exploradas e divulgadas para setores da economia que levem a um desenvolvimento sustentável. O hidrogênio verde e a descarbonização são possibilidades muito interessantes do ponto de vista ambiental e de saúde da população, em uma contribuição direta a menos emissão de carbono, auxiliando a ONU a atingir sua meta em salvar o planeta.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar tecnicamente, por meio de revisão de literatura, as metodologias de descarbonização utilizadas por países e empresas emissoras de dióxido de carbono e como conseguir o selo verde na execução de suas atividades.

2.2 Específicos

- Apresentar as principais metodologias de descarbonização utilizadas no Brasil e no mundo;
- Avaliar as metodologias e projetos de descarbonização em curso, seus desafios e perspectivas, para a instalação no Brasil;
- Reunir as informações sob a luz da legislação vigente, para obtenção de selos verdes, no que tange as técnicas de descarbonização.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas podem ser causadas por fatores naturais, como as alterações na radiação solar ou movimentos da órbita da Terra. Porém, o IPCC afirma que há 90% de certeza que o aumento da temperatura global está sendo causado pela ação humana ao longo dos últimos 250 anos (LEGNAIOLI, 2023).

Entre outros impactos ambientais das ações antropogênicas as alterações do uso do solo pelo desenvolvimento da agricultura e de atividades humanas, e a do albedo da superfície terrestre, que é a fração da radiação refletida de volta ao espaço, ocorrendo a alteração do balanço radiativo que controla a temperatura do planeta. Os efeitos das atividades antropogênicas nos ecossistemas terrestres são muitos, e cada vez mais pode-se perceber e atribuir às mudanças climáticas globais a eventos climáticos extremos particulares (uma chuva forte, uma seca prolongada etc.) e com isso estamos mudando a face de nosso planeta, em processos que a ciência ainda não conhece por inteiro (ARTAXO, 2014).

3.2 Ciclo do Carbono

O carbono desempenhou um papel fundamental no surgimento da vida na terra e continua a exercer uma influência significativa em nosso futuro. Ao longo de um extenso período, este elemento tem sido objeto de estudos científicos, e atualmente, desperta interesse tanto entre gestores, políticos quanto na sociedade em geral, devido ao seu papel na mudança climática de origem humana. Por essa razão, a compreensão dos mecanismos envolvidos no ciclo biogeoquímico do carbono é essencial para prever com precisão o curso das mudanças climáticas e desenvolver métodos eficazes de monitoramento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera (HIBBARD, 2001; BESSA, 2019).

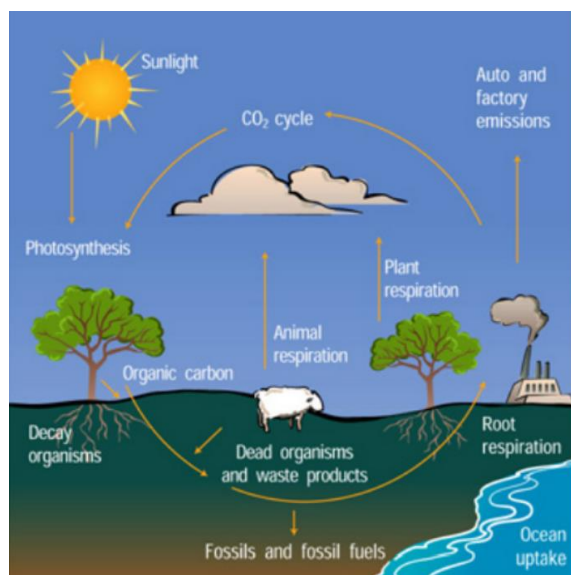
O dióxido de carbono (CO₂) é um componente natural da atmosfera da Terra. A composição média do ar atmosférico inclui aproximadamente 20,9% de oxigênio, 78,1% de nitrogênio, 0,9% de argônio e 0,1% de outros gases, entre os quais se encontra o dióxido de carbono, representando cerca de 0,04% da composição total. Além disso, a

atmosfera também contém vapor de água em quantidades altamente variáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Todo o CO₂ presente na atmosfera, nos organismos vivos e dissolvido nas massas de água tem sua origem nas rochas da crosta terrestre, que representam o maior depósito de carbono do planeta. Assim como a água, o nitrogênio, o oxigênio e outras substâncias que compõem a biosfera e a litosfera, o carbono circula de um reservatório para outro em um processo cíclico natural conhecido como o "ciclo do carbono" (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

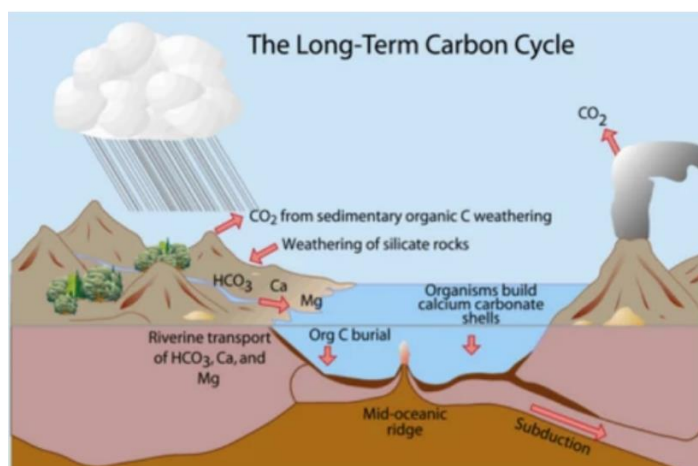
O entendimento do ciclo do carbono leva em consideração que ele resulta de uma interação complexa de diversos processos físicos, químicos e geológicos, que envolvem a transferência de CO₂ entre os reservatórios naturais e a produção de combustíveis fósseis. Portanto, do ponto de vista da velocidade e da duração temporal, podemos distinguir dois tipos distintos de ciclos de dióxido de carbono: o ciclo biológico e o ciclo geológico do carbono (STENAVATO, 2022).

No ciclo biológico do carbono (Figura 1), os processos são de curta duração e estão relacionados à fotossíntese, respiração e à decomposição natural da matéria orgânica. O dióxido de carbono (CO₂) existente na atmosfera, bem como o CO₂ presente nas massas de água, é absorvido por organismos fotossintéticos que o convertem em carboidratos, utilizando a energia solar nos processos de fotossíntese. Esses carboidratos servem de alimento para outros seres vivos, criando assim uma cadeia alimentar que envolve a transferência de carbono. Os organismos que se alimentam de seres fotossintéticos acabam incorporando energia a partir do carbono. No processo de respiração e em outros processos metabólicos, o CO₂ é gerado novamente e liberado na atmosfera, completando o ciclo biológico (BRAGA, 2005; STENAVATO, 2022).

Figura 1. Ciclo Biológico do Carbono.

Fonte: Stenavato, 2022.

O ciclo geológico do carbono (Figura 2) engloba uma série de fenômenos e eventos geológicos, incluindo erosão, transporte, sedimentação, carbonatação, litificação, afundamento, metamorfismo, subducção, fusão e o retorno à superfície terrestre por meio de erupções vulcânicas, gêiseres e eventos sísmicos. Esses processos e eventos geológicos naturais, que estão relacionados à geodinâmica e à tectônica, contribuem para trazer o carbono que está integrado nas rochas de volta à superfície terrestre. Uma vez na superfície, o carbono é novamente oxidado para CO_2 , seja por meio de reações químicas associadas à ação natural dos agentes de erosão, seja devido à influência das atividades humanas. O ciclo geológico do carbono é um conjunto de processos extremamente lentos que ocorrem em uma escala geológica, ou seja, ao longo de milhões ou até bilhões de anos (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Figura 2. Ciclo Geológico do Carbono.

Fonte: Stenavato, 2022.

3.3. Descarbonização

De acordo com o dicionário da Academia de Ciências de Lisboa, "descarbonizar" significa remover o carbono. No entanto, se levarmos essa definição ao pé da letra, "descarbonizar" significa, na verdade, eliminar os combustíveis fósseis (fontes de energia que têm carbono em sua composição) das opções de fontes de energia para abastecer o país e o mundo. É importante notar que o carbono também é um elemento fundamental para todos os seres vivos. Se o objetivo real for reduzir as emissões de dióxido de carbono na atmosfera, então o termo apropriado seria "descarbonatar", que, de acordo com o mesmo dicionário, significa "remover o dióxido de carbono" (ARAÚJO *et al.*, 2020).

A descarbonização é o processo de redução de emissões de carbono na atmosfera, especialmente de dióxido de carbono (CO₂). Seu objetivo é alcançar uma economia global com emissões reduzidas para conseguir a neutralidade climática através da transição energética. A descarbonização exige passar por um processo de transição energética realizando uma mudança estrutural que elimine o carbono da geração de energia, buscando energias alternativas limpas que emitam apenas aquilo que o planeta pode absorver (IBERDROLA, 2023).

A descarbonização eficaz é aquela que consegue avançar na neutralidade em carbono com o menor custo possível, propiciando que cada uso final da energia reduza suas emissões utilizando a alternativa mais competitiva. A eletricidade é o vetor energético que permite uma maior integração das energias renováveis e, por esta razão, é a opção mais eficiente para descarbonizar outros setores econômicos com o menor custo (IBERDOLA, 2023).

3.4 Histórico da política de descarbonização

O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) desde os tempos pré-industriais, aproximadamente a partir de 1750, tem provocado um aquecimento da superfície terrestre, desencadeando diversas mudanças climáticas, como o derretimento das calotas polares e o aumento do nível do mar (IPCC, 1996).

Desde o século XX, há consenso na comunidade científica de que a contínua emissão desses gases resultará em alterações permanentes no sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos generalizados e irreversíveis no ecossistema global. O último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*The Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2021)*) destaca que as emissões

passadas já ocasionaram consequências irreversíveis do aquecimento global, como o degelo da Groenlândia e da Antártica, o aquecimento da água do oceano, provocando mudanças na vida marinha, e o aumento do nível do mar (OLIVEIRA, 2021).

As metas para a redução das emissões de gases do efeito estufa tiveram início em 1997, durante a III Conferência das Partes (COP-3), um evento periódico cujo objetivo é promover e revisar a implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima. Desde então, várias reuniões e encontros de entidades foram realizados para discutir esse tema crucial.

A Tabela 1 apresenta uma cronologia das Conferências das Partes que tiveram impacto nesse processo (FREITAS e SILVA, 2020).

Tabela 1. Tabela com a Cronologia das Conferências das Partes.

COP	Ano	País	Definições
3	1997	Japão	Firmado o Protocolo de Quioto.
10	2004	Argentina	Início da vigência do Protocolo de Quioto para o primeiro período de compromisso de 2008 a 2012.
14	2008	Polonia	Os países em desenvolvimento demonstraram interesse em assumir compromissos de redução de emissões.
15	2009	Dinamarca	Estabelecido o objetivo de limitar o aumento da temperatura da superfície da Terra em 2°C.
18	2012	Catar	Prorrogado o Protocolo de Quioto pelo período de 2013 a 2020.
21	2015	França	Firmado o acordo de Paris. Todos os países concordaram em assumir compromissos para minimizar os efeitos do aquecimento global.

Fonte: Freitas e Silva, 2020.

No Protocolo de Quioto, foram estabelecidas metas para as nações e prazos para a redução média de emissões, com o objetivo de alcançar uma diminuição de 5% até 2008, especialmente para os países que aderiram ao acordo até o ano de 2005. O ano de referência para comparação da redução de gases de efeito estufa (GEE) foi estipulado como 1990 (OLIVEIRA, 2021).

O acordo considerou metas diferenciadas para países mais desenvolvidos, incentivando o desenvolvimento de tecnologias e recursos para as nações em desenvolvimento. Além disso, foram implementados mecanismos de flexibilização das metas, visando evitar impactos econômicos adversos aos países participantes. Caso um país não alcance suas metas de redução de emissões, há a possibilidade de adquirir créditos de países que participam do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MCDL, 2005).

Ademais, esse protocolo estabeleceu medidas e iniciativas a serem adotadas pelas partes com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Algumas dessas medidas incluem o aumento da eficiência energética em setores relevantes da economia, a implementação de práticas sustentáveis de manejo florestal, o incentivo ao florestamento e reflorestamento, o apoio à pesquisa e desenvolvimento de novas formas de utilização de energias renováveis, estímulos e reformas apropriadas para os setores de energia visando a limitação e redução das emissões de GEE, e a redução gradual de incentivos fiscais e subsídios para setores emissores caso sejam contraproducentes aos objetivos do protocolo em questão (CALESTINI, 2012).

A negociação e implementação do Protocolo de Quioto enfrentaram várias dificuldades que impactaram a eficiência do acordo e o mercado de carbono. Desafios notáveis incluíram a não ratificação do Protocolo pelos Estados Unidos, a retirada do Canadá em 2011, alegando ameaças de altas multas pela não conformidade com as metas de redução, a eficácia limitada na real redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), apesar das reduções significativas nos países do Anexo I (composto por países industrializados já desenvolvidos), e a complexidade na elaboração de um novo acordo para substituir o Protocolo (KIM; TANAKA; MATSUOKA, 2020; WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2021; SOUZA e CORRAZZA, 2017).

Essa dificuldade em chegar a um novo acordo ficou evidente na COP-15 em Copenhague em 2009, onde se esperava a assinatura de um novo acordo mais ambicioso para substituir o Protocolo de Quioto. No entanto, as divergências políticas, especialmente entre os Estados Unidos, que buscavam metas voluntárias, e o BRICS, bloco formado por Brasil, África do Sul, Índia e China, que exigiam financiamento contínuo dos países desenvolvidos para adaptação e transferência de tecnologia nos países em desenvolvimento, resultaram em impasses nas negociações. A conferência foi considerada legalmente um fracasso, pois não estabeleceu compromissos vinculantes,

mas representou um passo importante em direção ao Acordo de Paris em 2015 (SOUZA e CORRAZZA, 2017; VIOLA, 2010).

Em 2015, durante a COP-21 na França, 194 países ratificaram o Acordo de Paris e se comprometeram a estabelecer metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) com o principal objetivo de limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C e, preferencialmente, a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais até o ano de 2100 (UN, 2015).

As Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND) variaram em ambição, destacando-se propostas como a da União Europeia, que visava reduzir as emissões de GEE de toda a sua economia em 55% abaixo dos níveis de 1990, sem recorrer a créditos internacionais. Por outro lado, propostas mais conservadoras incluíam a dos Estados Unidos, que planejava reduzir as emissões de GEE em 26-28% abaixo dos níveis de 2005 até 2025. O Brasil assumiu uma posição moderada, comprometendo-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 (UNFCCC, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica de caráter qualitativo, que constituiu na revisão de literatura publicada em artigos científicos internacionais e nacionais, teses, dissertações e trabalhos publicados.

Os trabalhos utilizados para compor esse estudo, foram retirados de bases de dados acadêmicos como google acadêmico, Scielo, bibliotecas digitais de universidades, e periódicos da Capes. Foram utilizados os descritores: “Descarbonização no Brasil”, “Impactos na geração de energia”, “Descarbonização e hidrogênio verde”, “Selos Verdes”, “Legislação Brasileiro”, “Descarbonização”: Técnicas inovadoras e sustentáveis”. Seguindo como critério de inclusão trabalhos conceituados que atendiam ao tema do estudo, publicados, de preferência, nos últimos 10 anos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Principais metodologias de descarbonização

No contexto global atual, há uma crescente preocupação com o meio ambiente e uma necessidade urgente de usar as fontes de energia de forma responsável. O Acordo de Paris, assinado em 2015 por 195 países, incluindo o Brasil, estabeleceu um compromisso de controlar o aumento da temperatura global, mantendo-o abaixo de 2,0°C em relação aos níveis pré-industriais, e fazendo esforços para limitar o aquecimento a 1,5°C (IRENA, 2019).

Conforme um relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC- *The Intergovernmental Panel on Climate Change*), a queima de combustíveis fósseis, juntamente com práticas inadequadas de uso da terra, está diretamente relacionada ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Esse aumento ocorre devido à grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) liberada na atmosfera, o que tem um impacto significativo nas mudanças climáticas. Portanto, é essencial buscar fontes de energia mais limpas para atender à demanda energética e cumprir o compromisso estabelecido (IPCC, 2018).

5.1.1. Energias Renováveis

De acordo com Marques e colaboradores (2022), na natureza, existem dois tipos distintos de fontes de energia: renováveis e não-renováveis. As fontes de energia renováveis são aquelas que se baseiam em recursos que se regeneram naturalmente ao longo do tempo, como a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, entre outras. Por outro lado, as fontes de energia não-renováveis dependem de recursos que são finitos e se esgotam ao serem utilizados, como os combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo).

A busca pela sustentabilidade e eficiência energética transcende a simples provisão de energia para atender às crescentes necessidades futuras. Ela se estende à necessidade de fazê-lo de maneira alinhada com a preservação dos recursos naturais, fornecendo serviços energéticos essenciais à população que ainda não tem acesso, enquanto minimiza os conflitos geopolíticos desencadeados pela alta demanda energética (ARAÚJO *et al.*, 2022).

A queima de combustíveis fósseis constitui uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), o que, por sua vez, contribui para o aumento da temperatura média global. Portanto, em resposta às preocupações climáticas, a busca por fontes de energia alternativas e ambientalmente amigáveis está ganhando destaque em escala global. Nesse contexto, as fontes de energia renovável desempenham um papel crucial na transição da matriz energética (MARTINHO e FIALHO NETO, 2023).

A busca por fontes de energia alternativas tem como objetivo a adoção de tecnologias limpas, com a finalidade de alcançar a neutralidade de carbono e cumprir as metas estabelecidas no Acordo de Paris. Esses recursos são considerados fontes de energia limpa, uma vez que emitem menos dióxido de carbono (CO₂) em comparação com as fontes de energia fósseis. Assim, possibilitam o desenvolvimento sustentável ao conciliar a redução das emissões de gases de efeito estufa com o aumento da competitividade em relação aos combustíveis fósseis (GOLDEMBERG; LUCON, 2009; MARTINHO e FIALHO NETO, 2023).

Os recursos energéticos renováveis estão amplamente distribuídos pelo planeta, embora suas quantidades variem de acordo com a geografia. Como resultado dessa variação, a utilização de fontes de energia renovável pode ser mais intensa em algumas regiões do que em outras. Por exemplo, países localizados mais próximos dos polos terrestres podem aproveitar uma parcela relativamente maior de energia eólica, devido aos ventos consistentes nesses locais, em comparação com países situados próximos à linha do Equador, onde a energia solar fotovoltaica é mais predominante, devido à abundância de luz solar (ALMEIDA, 2023).

Dentre as fontes de energia renováveis, a energia eólica e solar desempenham um papel fundamental. É amplamente documentado na literatura que medidas e práticas sustentáveis têm recebido consideráveis investimentos em todo o mundo. Esses esforços são impulsionados pela busca da redução dos impactos socioeconômicos e ambientais. Além disso, essas fontes de energia renovável estão sendo progressivamente adaptadas em diversas aplicações, abrangendo desde a geração de eletricidade até o fornecimento de energia para residências rurais e urbanas (KHAN e ARSALAN, 2016).

Elas também são empregadas no bombeamento de água, irrigação agrícola (BALAJI e SUDHA, 2016; OKASHA *et al.*, 2021), carregadores solares e baterias portáteis (HU *et al.*, 2019; HUSSEIN e BATARSEH, 2011; SCHUSS *et al.*, 2014), transporte (HU *et al.*, 2019; MANTHIRAM *et al.*, 2013), iluminação LED solar (LEE *et al.*, 2014; SEHRAWAT *et al.*, 2021; TEO *et al.*, 2017; TSUEI *et al.*, 2010), estradas

solares (KHAN e ARSALAN, 2016), telecomunicações (BÜNZLI e ELISEEVA, 2010), edifícios e construções (USMAN *et al.*, 2022), entre muitos outros campos de aplicação.

Na tabela 2, Araújo e colaboradores (2022) realizaram uma comparação e as capacidades globais de energia entre os diferentes setores de energia entre os anos de 2019 e 2021 obtidos na base de dados da Renewable Energy Policy Network for the 21st century (REN21).

De acordo com a Tabela 2, o ano de 2021 testemunhou uma notável diversificação na matriz energética em comparação com os anos de 2019 e 2020. Ainda é perceptível a considerável predominância das fontes de energia e tecnologias provenientes de hidrelétricas, embora os indicadores mostrem um modesto aumento de apenas 2% nesse setor. O setor de energia hidrelétrica foi particularmente afetado devido à crise hídrica e à seca que afetaram diversos países notáveis na produção de energia a partir dessa fonte.

Tabela 2. Tabela com indicadores de energia renovável entre os anos de 2019 e 2021 e a capacidade global de energia entre diferentes setores de energia renovável.

Capacidade de energia	Anos		
	2019	2020	2021
Fonte de energia renovável total	2581	2840	3146
Hidrelétrica	1150	1168	1195
Solar Fotovoltaica (FV)	621	767	942
Eólica	650	745	845
Bioenergia	137	133	143
Geotérmica	14,0	14,2	14,5
Concentração de energia solar térmica	6,1	6,2	6,0
Energia oceânica	0,5	0,5	0,5

*Unidade: GM

Fonte: Araújo *et al.*, 2022.

Por outro lado, em 2021, as fontes de energia solar e eólica experimentaram um notável crescimento, com aumentos significativos de aproximadamente 22% e 12%, respectivamente. No entanto, as demais fontes de energia registraram aumentos menos acentuados e até mesmo se mantiveram estáveis nos setores de geotérmica, concentração de energia solar térmica e energia oceânica (ARAÚJO *et al.*, 2022).

É relevante destacar que existem várias tecnologias de células fotovoltaicas (PV) em diferentes estágios de desenvolvimento, variando de níveis 3 a 9 na escala de Technology Readiness Level (TRL), conforme mencionado por De Luca *et al.* (2020). Essas tecnologias englobam o silício, perovskitas, células de múltiplas junções e células orgânicas. No que diz respeito às emissões de carbono associadas à energia fotovoltaica, estas podem variar dependendo da tecnologia PV utilizada e da disponibilidade de radiação solar ao longo do período de operação do sistema. No entanto, é importante ressaltar que a maior parte das emissões está associada ao processo de fabricação dos módulos fotovoltaicos (SOVACOOOL e MONYEI, 2021).

Os valores de emissões associados à energia fotovoltaica, conforme relatados na literatura científica, podem variar consideravelmente. Por exemplo, de acordo com Sovacool e Monyei (2021), com base em análises do ciclo de vida, as emissões médias da energia fotovoltaica são de aproximadamente 49,9 toneladas de dióxido de carbono equivalente por gigawatt-hora (tCO₂-eq/GWh), com variações que podem se estender de 1 a 218 tCO₂-eq/GWh. Por outro lado, o autor Wild-Scholten *et al.* (2014) fornece dados regionais específicos na Europa, onde as emissões variam de 38 tCO₂-eq/GWh para o Chipre, que possui alta irradiação solar, a 89 tCO₂-eq/GWh para a Islândia, devido à sua baixa irradiação.

Conforme apresentada por Ludin *et al.* (2018), na Tabela 3, apresenta a faixa de variação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para várias tecnologias fotovoltaicas. A avaliação das emissões do ciclo de vida é fundamental para analisar o impacto ambiental das tecnologias fotovoltaicas, permitindo a quantificação das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) desde a extração das matérias-primas até o desmantelamento no final da vida útil (REN e KAN, 2021).

Tabela 3. Emissões por tipo de tecnologia fotovoltaica.

Tipo de tecnologia fotovoltaica	Emissões de CO₂ (g-eqCO₂/kWh)
Silício	12,1-671
Perovskite	56,65-497,2
Orgânicas	10-80

Fonte: Ludin *et al.*, 2018.

Assim como as usinas solares, os parques eólicos não emitem dióxido de carbono (CO₂) e outros gases poluentes durante sua fase de operação. No entanto, são observadas algumas emissões devido à fabricação das turbinas eólicas e outros

equipamentos necessários para a construção do parque eólico, ao transporte desses equipamentos, à construção do parque eólico e ao desmantelamento no final de sua vida útil (ALMEIDA, 2023).

Os valores das emissões de CO₂ relatados na literatura podem variar significativamente, com intervalos que abrangem desde 0,4 gramas de CO₂ equivalente por quilowatt-hora (gCO₂-eq/kWh) até 364,8 gCO₂-eq/kWh, sendo a média em torno de 12 gCO₂-eq/kWh, (AMPONSAH *et al.*, 2014; SOVACOOOL e MONYEI, 2021).

5.1.2. Eficiência Energética e Eletrificação

A transição para uma economia verdadeiramente sustentável não se limita apenas à mudança das fontes de energia, mas também exige o desenvolvimento de uma utilização mais eficiente, justa e equitativa da energia. O Cenário de Desenvolvimento Sustentável da Agência Internacional de Energia (IEA) destaca a eficiência energética como tendo um potencial significativo, capaz de contribuir com mais de 40% da redução necessária das emissões de gases de efeito estufa até 2040 (ALMEIDA, 2023).

De acordo com a International Energy Initiative (IEI), a eficiência energética pode ser definida como a relação entre a energia útil e a energia consumida, a energia útil é efetivamente convertida na forma desejada para uso final, e a energia consumida é pelos equipamentos ou conjunto de equipamentos que realizam essa conversão energética. Aparelhos com maior eficiência energética são aqueles que consomem menos energia para atingir o mesmo objetivo (IEI, 2019).

O objetivo principal é reduzir ao máximo o desperdício, assegurando que os equipamentos utilizem apenas a quantidade necessária de energia para seu funcionamento, seja desde uma simples lâmpada elétrica até instalações industriais complexas. A eficiência energética requer a utilização de equipamentos com alto desempenho, ou seja, aqueles que consomem menos eletricidade para produzir a mesma quantidade de energia útil em comparação com seus equivalentes (POTENCIALIZEE, 2023).

Promover a eficiência energética envolve a aplicação de conhecimentos no setor de energia, utilizando os princípios da engenharia, economia e administração em sistemas de energia. Devido à diversidade e complexidade desses sistemas, é benéfico empregar técnicas e métodos que ajudem a definir metas e ações para aprimorar o

desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (ELEKTRO *et al.*, 2012; BERNADES *et al.*, 2020).

A eficiência energética e as energias renováveis são consideradas pilares essenciais na transição energética, conforme indicado pela IEA em 2020. Para alcançar os objetivos de redução das emissões de gases de efeito estufa, é crucial que a intensidade de carbono do Produto Interno Bruto (PIB) mundial diminua em pelo menos o dobro do histórico observado. Vários estudos apontam que o setor global de geração de eletricidade deve atingir a neutralidade de carbono entre 2040 e 2060, com um foco substancial em fontes de energia renovável (FORTES *et al.*, 2020).

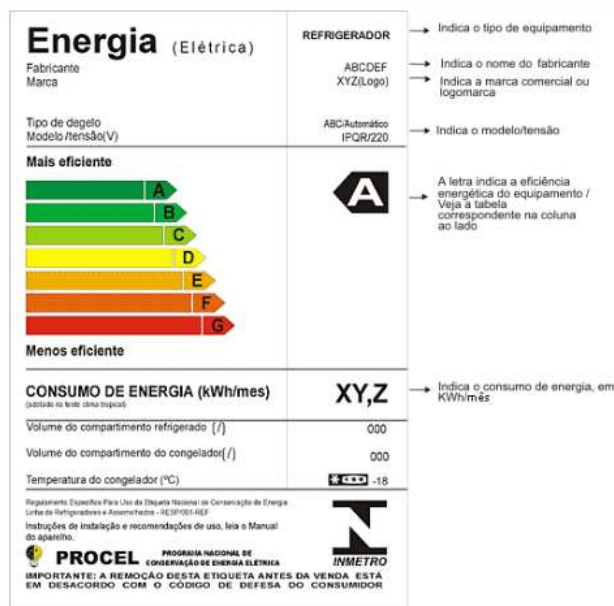
No Brasil e em todo o mundo, diversas usinas ainda dependem de combustíveis fósseis para a geração de energia, resultando na emissão de poluentes e gases causadores do efeito estufa. Priorizar o uso eficiente da energia não apenas implica em reduzir as emissões dessas substâncias na atmosfera, mas também representa uma contribuição significativa para a preservação da saúde humana e do meio ambiente. Um exemplo concreto desse esforço é a adoção generalizada de lâmpadas de LED, atualmente as mais eficientes no mercado (KRUGER e RAMOS, 2016).

Essas lâmpadas destacam-se por converter energia elétrica em luz sem gerar uma quantidade significativa de energia térmica (calor), ao contrário das lâmpadas incandescentes que são notáveis por seu desperdício energético devido à geração excessiva de calor. A melhoria na eficiência energética não apenas reduz a necessidade imediata de gerar mais energia, adiando a construção de novas usinas, mas também desempenha um papel crucial na diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de outros poluentes (KRUGER e RAMOS, 2016).

Com o intuito de fomentar o uso eficiente de energia elétrica, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, foi estabelecido. Este programa tem como propósito disponibilizar informações sobre a eficiência energética de diversos equipamentos. Dessa maneira, ao adquirir um aparelho, os consumidores têm a capacidade de fazer escolhas informadas, optando por aqueles que são mais eficientes em termos energéticos. Além disso, a presença da etiqueta de eficiência energética estimula a indústria a fabricar produtos cada vez mais eficazes nesse quesito, promovendo um ciclo de melhoria contínua no desenvolvimento de equipamentos energeticamente sustentáveis (EPE, 2021).

A Figura 3 representa uma etiquetagem de um refrigerador exibindo informações sobre sua eficiência energética. A etiqueta fornece dados importantes para os consumidores, permitindo-lhes conhecer o consumo de energia.

Figura 3. Informações sobre a eficiência energética de refrigerador.



Fonte: EPE, 2021.

Além do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), existe também o Selo Procel de Economia de Energia, conhecido simplesmente como Selo Procel (Figura 4). Este selo tem como propósito ser uma ferramenta direta e eficaz, permitindo aos consumidores identificarem, dentre os diversos equipamentos e eletrodomésticos disponíveis no mercado, aqueles que são os mais eficientes e consomem menos energia (EPE, 2021).

Figura 4. Selo Procel.



Fonte: EPE, 2021.

No entanto, é importante notar que medidas de eficiência energética e a descarbonização do setor de geração de eletricidade não serão suficientes para alcançar a redução necessária das emissões de gases de efeito estufa. Isso ocorre porque apenas 25% das emissões globais de gases de efeito estufa estão relacionadas à geração de eletricidade e calor, enquanto os setores de uso final, como edifícios, transportes e indústria, são responsáveis por mais de 41% das emissões (FORTES *et al.*, 2020).

De acordo com Bernardo (2021), o caminho em direção a uma economia neutra em carbono requer um aumento na eletrificação e no uso de fontes de energia renovável. Além disso, é fundamental considerar diversas áreas estratégicas, como a eficiência energética, a diversificação das fontes de energia, o fortalecimento e modernização das infraestruturas, o desenvolvimento de interligações, a estabilidade dos mercados e investimentos, a reconfiguração e digitalização do setor energético, o estímulo à pesquisa e inovação, a promoção de processos, produtos e serviços com baixas emissões de carbono, a oferta de melhores serviços energéticos e o incentivo à tomada de decisão informada por parte dos cidadãos. Esse conjunto abrangente de ações desempenha um papel vital na transição para uma economia com baixas emissões de carbono.

A crescente integração das energias renováveis nos sistemas elétricos mundiais, agora com custos competitivos em relação às energias fósseis, é inegavelmente a maneira mais rápida de alcançar os objetivos de descarbonização. Portanto, a eletrificação é considerada um dos pilares essenciais da descarbonização, devido à facilidade de incorporação das fontes de energia renovável nas infraestruturas elétricas já existentes. Isso possibilita uma transição eficaz para um sistema de energia mais limpo e sustentável, enquanto reduz as emissões de carbono e promove uma maior eficiência no uso da energia (BERNARDO, 2021).

5.1.3. Captura, Armazenamento e comercialização de Carbono

Além das formas naturais já abordadas anteriormente nesse estudo a captura de carbono pode ser realizada por meio de três diferentes formas e processos: pré-combustão, pós-combustão e combustão de oxi-combustível. Os sistemas de pré-combustão transformam combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos em uma mistura de hidrogênio e dióxido de carbono por meio de processos como a "gaseificação" ou a "reforma". Nessa reação, o hidrogênio pode ser usado como fonte de calor ou energia livre de dióxido de carbono (AZEVEDO, 2023).

A captura pós-combustão, por sua vez, envolve a captura do dióxido de carbono proveniente das emissões de um sistema de combustão e a sua absorção em um solvente, antes da remoção e compressão dos poluentes. A separação do dióxido de carbono também pode ser realizada por meio de filtração de membrana de alta pressão e processos de separação criogênica. Por último, a combustão de oxí-combustível implica a queima de combustível com oxigênio, em vez de ar, para que o gás resultante contenha principalmente vapor de água e dióxido de carbono. Embora esse processo facilite a captura do CO₂ devido à sua concentração elevada, ele exige a prévia separação do oxigênio do ar circundante (AZEVEDO, 2023)

Já no que tange ao seu armazenamento o dióxido de carbono é cuidadosamente armazenado em formações geológicas específicas, que estão localizadas a vários quilômetros abaixo da superfície da Terra. As opções de armazenamento incluem geralmente aquíferos profundos, cavernas ou domos de sal, reservatórios de gás ou petróleo e camadas de carvão. Devido à sua profundidade, essas formações geológicas retêm o CO₂ longe da atmosfera, reduzindo os impactos das emissões. (AZEVEDO, 2023).

De acordo com o Código Florestal brasileiro instituído pela Lei n. 12.651 de maio de 2012 no seu Art. 3º, entende-se por Crédito de Carbono “Título de direito sobre bem intangível e incorpóreo transacionável” (BRASIL, 2012).

Um Crédito de Carbono representa uma tonelada de carbono que não foi emitida na atmosfera, contribuindo para reduzir o efeito estufa. Em outras palavras, uma tonelada de dióxido de carbono equivale a um crédito de carbono. Esse crédito é a unidade utilizada no mercado de carbono. Empresas com altas emissões e poucas opções para reduzi-las podem comprar créditos de carbono para compensar suas emissões. Portanto, quanto mais um país ou organização se esforçar para reduzir a poluição, mais créditos poderá gerar, e utiliza-los como moeda de troca com outros países que não cumpriram suas metas de redução (SEBRAE, 2023).

O seu mercado é originado a partir da troca de emissões de carbono e do funcionamento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Projetos aprovados pelo MDL geram Reduções Certificadas de Emissão (RCEs), que podem ser negociadas com empresas, indústrias ou países que não conseguiram atingir suas metas de emissões de CO₂. Cada país regulamenta o mercado de carbono por meio de sua própria legislação (SEBRAE, 2023).

No Brasil, essa regulamentação é estabelecida pelo Decreto nº 5.882 de 2006. O mercado de carbono envolve essencialmente a transação de créditos de carbono entre um país que os detém devido à redução de suas emissões de dióxido de carbono e um país que precisa reduzir suas emissões, mas não alcançou suas metas (SEBRAE, 2023).

Quando se trata da venda de créditos de carbono no mercado de carbono, existem duas categorias distintas e significativas para escolher. Uma delas é o mercado regulamentado, criado por meio de regulamentos de cap-and-trade, que envolvem compromissos entre países. Nesse mercado, as empresas têm limites máximos de emissões e podem comprar e vender permissões. Este mercado é obrigatório e envolve programas de cap-and-trade, onde cada empresa recebe um número específico de créditos de carbono a cada ano. Empresas que emitem menos do que a quantidade de créditos atribuídos a elas acumulam um excedente de créditos de carbono (SEBRAE, 2023).

A outra categoria é o mercado voluntário, onde empresas e indivíduos adquirem créditos de carbono por conta própria para compensar suas emissões de carbono. Esse mercado é opcional, permitindo que qualquer país ou empresa interessada compre créditos de carbono de forma voluntária para reduzir suas emissões de CO₂ (SEBRAE, 2023).

Assim como qualquer outra moeda, o valor do crédito de carbono é suscetível a flutuações e é influenciado por fatores econômicos, de mercado e ambientais específicos de cada país. Os créditos de carbono podem ser objeto de negociação direta entre compradores e vendedores, ou então, podem ser negociados indiretamente no mercado secundário, que é regulado pelas bolsas de valores (SEBRAE, 2023).

No Brasil, a ênfase dos cientistas e da indústria recai sobre o pré-sal. A Petrobras ostenta o maior projeto global de captura e reinjeção de dióxido de carbono (CO₂) em operação, tendo já realizado o sepultamento de 40 milhões de toneladas de CO₂ nas reservas do pré-sal, operando por meio de doze plataformas dedicadas. Somente em 2022, essa contribuição totalizou 10,6 milhões de toneladas do gás, representando, segundo a empresa, aproximadamente 25% de todo o CO₂ enterrado globalmente no ano anterior. O pré-sal destaca-se como uma escolha propícia para essa finalidade, em virtude da presença de uma camada de sal que desempenha o papel de barreira, impedindo a fuga do CO₂ (GARATTONI e BRUM, 2023).

5.1.4. Biocombustíveis

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2021), os biocombustíveis são provenientes de fontes de biomassa renovável e têm a capacidade de substituir parcial ou integralmente os combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores de combustão e em outras formas de geração de energia. (BOSCHI, 2022).

A produção de biocombustíveis é derivada de fontes renováveis, como a biomassa, e pode ser empregada para complementar ou substituir os combustíveis fósseis (DUARTE *et al.*, 2022). Embora a queima de biocombustíveis resulte na liberação de dióxido de carbono (CO₂), o biocombustível é considerado neutro em carbono. Isso ocorre porque todo o carbono emitido durante a combustão do biocombustível é absorvido pelas plantas (SUBRAMANIAM e MASRON, 2020).

De acordo com Ebadian *et al.* (2020), nações de grande relevância na produção de biocombustíveis, como os Estados Unidos, Brasil, China e Índia, priorizam sobretudo a busca pela segurança energética e o fortalecimento do setor agrícola. Em contrapartida, membros da União Europeia e o Canadá não têm como foco primordial o desenvolvimento rural, mas se concentram nas questões ambientais. Quanto a países que enfrentam escassez de matérias-primas, como o Japão, a redução dos impactos ambientais tem se tornado o principal motor dos investimentos em combustíveis ecologicamente sustentáveis.

No Brasil, os dois principais biocombustíveis amplamente empregados são o etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar, e o biodiesel, obtido a partir de gordura animal e óleos vegetais. Já no mundo, os principais biocombustíveis mais utilizados são etanol, biodiesel, biogás e hidrogênio renovável (BOSCHI, 2022).

O biodiesel pode ser definido como um combustível renovável obtido por meio de um processo químico conhecido como transesterificação. Nesse processo, os triglicerídeos encontrados em óleos vegetais e gorduras animais reagem com um álcool primário, como metanol ou etanol, resultando na formação de dois produtos: o éster e a glicerina. Somente o éster pode ser comercializado como biodiesel, após ser submetido a etapas de purificação (ANP, 2020).

Entre os biocombustíveis, o biodiesel tem se destacado como uma alternativa ao óleo diesel no setor de transportes (Hosseinzadeh-Bandbafha *et al.*, 2018). Ele é considerado um dos biocombustíveis mais promissores, oferecendo vantagens como biodegradabilidade, sustentabilidade e baixas emissões de poluentes e GEE (Syafiuddin

et al., 2020). No Brasil, o biodiesel foi implementado em 2004 e atualmente é misturado ao diesel em um percentual mínimo de 13% (B13). De acordo com o cronograma estabelecido, esse percentual mínimo será aumentado em 1% a cada ano, chegando a 15% em 2023 (ANP, 2021).

O etanol é um tipo de álcool etílico (C₂H₅OH) derivado da fermentação dos açúcares presentes em matérias-primas como milho, beterraba e, predominantemente, cana-de-açúcar. É amplamente utilizado como combustível para motores de combustão interna, constituindo uma fonte de energia renovável devido ao sequestro de carbono realizado durante o cultivo das plantas. No Brasil, a produção maciça de etanol está majoritariamente associada à cana-de-açúcar (CONAB, 2021).

O biogás é definido como um gás bruto gerado naturalmente pela decomposição de resíduos e efluentes orgânicos. No processo de produção de biogás, o substrato, que é a matéria orgânica, passa por decomposição por diversos microrganismos em um ambiente anaeróbio. Isso resulta em uma mistura de gases, com predominância de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). O biogás pode ser gerado a partir de diversas fontes de matérias-primas. Destacam-se entre elas os resíduos alimentares, resíduos agrícolas, estrume animal, resíduos de aves, resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos florestais, microalgas e culturas energéticas (ZABED *et al.*, 2020).

No Brasil, foi instituído pela Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), sendo uma iniciativa importante do governo brasileiro para promover a produção e o uso de biocombustíveis no Brasil. Essa política tem como objetivo incentivar a produção de biocombustíveis, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental e econômica no setor de energia (CAFFAGNI, 2022).

Os principais objetivos do RenovaBio são contribuir para as metas estabelecidas no Acordo de Paris, impulsionar a expansão na produção e utilização de biocombustíveis, e proporcionar previsibilidade à participação desses combustíveis no mercado nacional. Para atingir tais metas, o programa adota seis instrumentos específicos: metas de redução de emissões para o setor de distribuição de combustíveis, a implementação dos Créditos de Descarbonização (CBios), certificação de biocombustíveis, adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis, incentivos fiscais, financeiros e creditícios, além de ações no contexto do Acordo de Paris. Além disso, propõe o reconhecimento da capacidade dos biocombustíveis como um dos principais fundamentos para viabilizar a retomada dos investimentos privados

no setor no Brasil, visando atingir as metas de descarbonização estabelecidas. (VIDAL, 2019).

5.1.5. Plano Agricultura de Baixo Carbono

O desenvolvimento sustentável na agropecuária é uma crescente preocupação intrínseca às cadeias produtivas do agronegócio brasileiro. Entretanto, a sustentabilidade continua a ser uma questão central no diálogo sobre agricultura e meio ambiente. A utilização excessiva de recursos naturais, desprovida de uma perspectiva de longo prazo, pode comprometer o avanço sustentável (SANTOS *et. al.*, 2021).

Evidenciam-se registros acerca dos impactos do esgotamento dos recursos naturais na dinâmica produtiva e social (GARCIA e VIEIRA FILHO, 2018). Nesse contexto, análises periódicas são indispensáveis para avaliar a congruência do crescimento da produção agropecuária com os princípios da sustentabilidade. Acredita-se que há espaço para que o setor alcance maior eficiência, embasando seu desenvolvimento em um modelo de produção fundamentado na Agropecuária de Baixo Carbono (ABC) e na preservação e conservação do meio ambiente e dos recursos naturais (TELLES e RIGHETTO, 2019).

As iniciativas delineadas pelo Plano ABC para a produção agropecuária de baixa emissão de carbono abrangem a recuperação de pastagens degradadas, a implementação de sistemas integrados (como Integração Lavoura Pecuária (ILP) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)) e sistemas agroflorestais (SAFs), a adoção do Sistema Plantio Direto (SPD), a promoção da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), a expansão da área de florestas plantadas e o tratamento de dejetos animais. Dessa forma, torna-se essencial avaliar se as metas estabelecidas pelo Brasil no contexto do Plano ABC foram alcançadas, tanto em termos de adoção de tecnologias sustentáveis quanto em relação à mitigação das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) na atmosfera. Além disso, é crucial examinar a eficácia dessas ações na conciliação da produção agropecuária com os princípios da sustentabilidade (SANTOS *et al.*, 2021).

De acordo com Nobre *et al.* (2023) os aportes necessários para viabilizar a transição da agricultura e pecuária demandam um montante adicional de aproximadamente R\$ 442 bilhões em relação às estimativas do cenário de referência (REF). A disseminação de práticas de baixa emissão de carbono e a intensificação da agropecuária devem ser direcionadas exclusivamente a áreas previamente degradadas e

consolidadas pelo impacto humano, com uma ênfase primordial na adoção de bioinsumos e na implementação de sistemas integrados de produção, como a integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais, especialmente com o uso de espécies nativas.

Da mesma forma que o Plano ABC (2010-2020) desempenhou um papel fundamental ao impulsionar o Brasil a superar as metas voluntárias de mitigação da mudança climática, apresentadas de maneira voluntária à Convenção sobre Mudança do Clima para o período pré-2020, o ABC+ (2020-2030) desempenhará um papel crucial na facilitação da implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (CND) no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção. Este novo plano se destaca ao priorizar de forma mais expressiva e robusta a adaptação aos efeitos adversos das mudanças climáticas nesta fase, e introduz uma abordagem inovadora por meio da gestão integrada da paisagem (MAPA, 2023).

O ABC+ compreende nove eixos estratégicos, abrangendo temáticas centrais a serem abordadas até 2030. Esses eixos são subdivididos entre Programas e Estratégias, formando uma rede interconectada que visa facilitar a compreensão das inter-relações entre diferentes atores e promover a integração das ações necessárias para alcançar as metas estabelecidas pelo ABC+. A distinção entre Programas e Estratégias não apenas auxilia no monitoramento e avaliação dos resultados por eixo, mas também permite a implementação de ações específicas de comando e controle, possibilitando ajustes pontuais no rumo do ABC+ (MAPA, 2023).












Os Programas representam o conjunto de ações sob coordenação direta da Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação (SDI) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), enquanto as Estratégias refletem aquelas de gestão compartilhada, definidas com base no envolvimento dos atores públicos (MAPA, 2023).

- Tem-se, assim, quatro programas:
 - Programa de Acesso à Crédito e Financiamentos;
 - Programa de Estímulo à Adoção e Manutenção dos SPSABC;
 - Programa de Cooperação Estratégica;
 - Programa de Valoração e Reconhecimento.
- Também, cinco estratégias:
 - Estratégia de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER),

- Capacitação e Transferência de Tecnologia;
- Estratégia de Comunicação e Sensibilização;
- Estratégia de Governança, Monitoramento e Avaliação;
- Estratégia de Inteligência em Gestão de Risco Climático e Mitigação e;
- Estratégia de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Na Figura 5, estão destacadas as metas de redução de GEE projetadas para o ano de 2030, onde o plano espera mitigar no total 1.076,14 milhões de Mg CO₂ eq. de acordo com as atividades a serem realizadas:

Figura 5. Metas de redução de GEE projetadas para o ano de 2030 de acordo com o Plano ABC+.

METAS ABC+ e Mitigação 2021 a 2030			
TECNOLOGIAS 		META milhões ha ⁽¹⁾ /m ³ ⁽²⁾ /animais ⁽³⁾	META MITIGAÇÃO milhões Mg CO ₂ eq
Práticas para Recuperação de Pastagens Degradadas (PRPD) 		30,0 ⁽¹⁾	113,7
Sistema Plantio Direto (SPD)	Sistema Plantio Direto de Grãos (SPDG) 	12,5 ⁽¹⁾	12,1
	Sistema Plantio Direto Hortaliças (SPDH) 	0,08 ⁽¹⁾	0,88
Sistemas de Integração (SIN)	Integração Lavoura- Pecuária- Floresta (ILPF) 	10,0 ⁽¹⁾	34,1
	Sistemas Agroflorestais (SAF) 	0,1 ⁽¹⁾	37,9
Florestas Plantadas (FP) 		4,0 ⁽¹⁾	510,0
Bioinsumos (BI) 		13,0 ⁽¹⁾	23,4
Sistemas Irrigados (SI) 		3,0 ⁽¹⁾	50,0
Manejo de Resíduos da Produção Animal (MRPA) 		208,4 ⁽²⁾	277,8
Terminação Intensiva (TI) 		5,0 ⁽³⁾	16,24
TOTAL ABC+		72,68 milhões ha + 208,40 milhões m³ + 5 milhões de animais	1.076,14 milhões de Mg CO₂eq

Fonte: MAPA, 2023.

5.1.6. Florestamento e Reflorestamento

Quando abordamos o sequestro de carbono realizado pelas florestas, é fundamental compreender que esse processo representa um serviço ecossistêmico que desempenha um papel crucial na regulação do clima, uma vez que tem a capacidade de remover gases poluentes da atmosfera. Além disso, pode ser quantificado e valorizado, geralmente por meio de uma taxa líquida anual de sequestro (Liu *et al.*, 2018).

Em relação ao potencial de sequestro de carbono das florestas, é importante destacar que ele pode variar significativamente devido a uma variedade de condições, incluindo o tipo de árvores (coníferas ou folhosas), espécies, densidade da madeira, práticas de manejo, sistemas silviculturais, idade das florestas, condições edafoclimáticas e outros fatores (LUCHESE, 2023).

As florestas desempenham o papel de um "reservatório natural, onde um gás de efeito estufa, um aerossol ou um precursor de um gás de efeito estufa é armazenado",

conforme destacado pelo IPCC (2021, p. 558). De acordo com o *Board of Water and Soil Resources* (2019), as árvores, juntamente com todas as plantas, realizam a fixação do CO₂ atmosférico por meio do contínuo processo de fotossíntese, convertendo o carbono em biomassa e outras substâncias orgânicas. Posteriormente, o carbono é reintroduzido na atmosfera através do processo de respiração das árvores e da decomposição da matéria orgânica do solo, constituindo o conhecido "ciclo do carbono" (CORREIA, 2022).

Quando abordamos o tema do estoque e sequestro de carbono, é crucial compreender a distinção entre o carbono orgânico total armazenado na biomassa ou no solo e a quantidade de dióxido de carbono, um dos gases de efeito estufa (GEE), removido da atmosfera. Essa diferenciação decorre do fato de que cada molécula ou tonelada de carbono armazenada nas plantas ou no solo implica na retirada de 3,67 moléculas ou toneladas de CO₂ da atmosfera. Essa conversão entre o que está armazenado no sistema e o que foi efetivamente sequestrado pode ser realizada (LUCHESE, 2023).

5.1.7. Transporte público e Mobilidade Sustentável

O papel das cidades na luta contra as mudanças climáticas é essencial e passa pela importância do emprego de novas tecnologias inteligentes. Essa abordagem é considerada crucial no que tange as complexidades da urbanização, como mobilidade, saúde, eficiência energética e gestão de resíduos. A implementação de tecnologias pode resultar na redução das emissões de gases de efeito estufa e fortalecer a capacidade adaptativa das cidades (SILVA, 2021).

Segundo o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT), mobilidade é definida como a capacidade individual de se deslocar, considerando as necessidades e o interesse em se locomover de cada indivíduo. A mobilidade é influenciada pelos meios de transporte disponíveis e pela acessibilidade proporcionada pelo sistema de transportes, além de ser moldada pelas características individuais e pelo contexto familiar de cada pessoa (IMT, 2011; CORDEIRO, 2022).

A problemática atual no setor dos transportes está intrinsecamente ligada a uma ampla gama de impactos ambientais em todas as escalas geográficas. Essa complexidade decorre da natureza dos próprios modos de transporte, seus sistemas de fornecimento de energia, as emissões atmosféricas associadas e as infraestruturas em que operam. A extensa utilização de combustíveis fósseis no setor dos transportes

contribui significativamente para uma parcela considerável das emissões dos GEE. Além dos impactos negativos na qualidade do ar, essas emissões desempenham um papel crucial no fenômeno do aquecimento global, apresentando ameaças significativas para a estabilidade dos ecossistemas na terra (MONTEIRO, 2019).

No Brasil, foi instituída a Lei Federal nº 12.587 de 2012, que aborda a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), apresenta princípios, diretrizes e instrumentos essenciais para a transição, alinhando-se às necessidades de transformações significativas nos padrões tradicionais de mobilidade. Seu propósito é promover cidades mais justas e sustentáveis, refletindo um compromisso com a melhoria do cenário urbano e a promoção de sistemas de transporte mais eficientes e equitativos (BRASIL, 2012).

Dentre as propostas de aprimoramento na mobilidade urbana, a Lei sugere diversas medidas, incluindo a integração dos modos de transporte urbanos, o estímulo ao desenvolvimento e uso de energias sustentáveis para o transporte nas cidades, o apoio à restrição e controle da circulação de veículos motorizados em espaços específicos, em determinadas horas ou dias. Além disso, a legislação propõe investimentos em infraestrutura para veículos não motorizados em vias públicas, bem como o monitoramento e controle das emissões de gases por veículos motorizados, com restrições de fluxo em determinadas vias, visando aprimorar a qualidade do ar (BRASIL, 2012).

Diante da necessidade de reavaliar as políticas de transporte nas cidades e enfrentar as consequências desse fenômeno, foram introduzidos os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS). O objetivo do PMUS é direcionar os investimentos públicos em infraestruturas de transporte e elaborar propostas e ações estratégicas para os sistemas, buscando garantir uma circulação coesa e sustentável de pessoas e mercadorias na cidade. Isso envolve a integração de modais motorizados e não motorizados, com prioridade para os transportes coletivos, deslocamento a pé ou de bicicleta, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da habitabilidade nas cidades (SILVA, 2022).

Ao contrário dos planos de mobilidade tradicionais, que se concentram em resolver congestionamentos automobilísticos, os princípios fundamentais do PMUS são diversos. Eles incluem acessibilidade, segurança, intermodalidade, eficiência, qualidade de vida, dinamismo econômico, inclusão social e respeito ao ambiente. A Tabela 4

apresenta as principais distinções entre os planos convencionais de transporte e os PMUS (SILVA, 2022).

Tabela 4. Principais diferenças entre Plano de Transporte Tradicional e Plano de Mobilidade Urbana Sustentável.

Plano de Transporte Tradicional	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
Foco no tráfego	Foco nas pessoas
Objetivos principais: melhoria da capacidade de fluxo das vias e da velocidade do tráfego	Objetivos principais: acessibilidade, sustentabilidade e qualidade de vida
Foco em um modal	Desenvolvimento integrado de todos os modais
Planejamento Setorial	Planeamento consistente com as políticas de áreas relacionadas
Infraestrutura como tema principal	Combinação de infraestrutura, mercado e políticas de uso e ocupação do solo
Cobertura de uma área administrativa	Cobertura de uma área urbana funcional baseada nos movimentos pendulares
Domínio de engenheiro de tráfego	Equipes multidisciplinares
Planejado por especialistas	Planejamento coparticipado com cidadãos e demais stakeholders
Avaliação de impacto limitada	Avaliação sistemática dos impactos para facilitar o aprendizado e a melhoria
Planos de curto e médio prazo	Planos de curto e médio prazo, alinhados com uma estratégia e visão de longo prazo

Fonte: Silva, 2022.

A mobilidade é reconhecida como um dos principais desafios enfrentados pelas áreas urbanas em escala global. Isso se deve não apenas à necessidade de atender às demandas daqueles que residem, trabalham ou visitam as cidades, mas também ao impacto ambiental significativo que essas atividades representam. Por outro lado, a digitalização em curso das cidades e os avanços tecnológicos no setor da mobilidade oferecem novas soluções e equipamentos que desempenham um papel crucial na instauração de uma mudança disruptiva na mobilidade urbana. Notavelmente, três grandes tendências emergem como protagonistas desse paradigma transformador: transporte coletivo, a micromobilidade e os veículos elétricos (NETO *et al.*, 2021).

A utilização de meios de transporte coletivo, como ônibus, trem e metrô, em detrimento dos veículos individuais, desempenha um papel significativo na mitigação da emissão dos GEE. Os transportes coletivos apresentam uma capacidade superior para transportar passageiros em comparação aos carros particulares, resultando em uma considerável redução das emissões dos gases por passageiro. Além disso, esses meios de transporte são geralmente mais eficientes em termos de consumo de combustível por passageiro-quilômetro se comparados aos veículos individuais (SALES *et al.*, 2020).

A concepção de ônibus, trens e metrôs visa acomodar grandes grupos de pessoas, otimizando assim o uso de energia por indivíduo. A prevalência do uso de carros particulares contribui para o congestionamento do tráfego, frequentemente resultando em um aumento das emissões poluentes devido ao funcionamento ineficiente dos motores. A adesão ao transporte coletivo pode reduzir o número de veículos nas vias, atenuando o congestionamento e aprimorando a fluidez do tráfego (SALES *et al.*, 2020).

A micromobilidade abrange o deslocamento de veículos leves, operando a velocidades de até 25 km/h e destinados a viagens de até 10 km. Essa categoria engloba patinetes, bicicletas, bicicletas de carga, skates e triciclos. A micromobilidade não apenas aumenta o acesso ao transporte público ao substituir o uso do carro em deslocamentos de curta distância, mas também possibilita deslocamentos sem emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou poluentes atmosféricos, promovendo hábitos mais sustentáveis (ITDP, 2020).

Para efetivar essa transição, é essencial promover áreas pedonais e redes cicláveis que ofereçam segurança aos usuários. Isso envolve a garantia de uma boa pavimentação nos passeios e ciclovias, sinalização apropriada, separação física quando necessário para segregar peões, ciclistas e veículos, além de uma adequada iluminação. Incentivar a presença de árvores ao longo das rotas pedestres também é crucial, pois proporcionam sombra e contribuem para um ambiente mais agradável durante as caminhadas (ITDP, 2020).

Um veículo é classificado como elétrico quando emprega meios de propulsão alimentados por eletricidade, possuindo, no mínimo, um motor elétrico responsável por impulsioná-lo. Há diversas categorias de veículos elétricos, cada uma com características específicas que influenciam seu impacto ambiental. Essas categorias compreendem o veículo elétrico a bateria, o veículo a célula de combustível e o veículo elétrico híbrido, conforme descrito por Lopes (2022).

Do ponto de vista ambiental, os Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEV, do inglês "*Fuel Cell Electric Vehicle*"), comumente conhecidos como veículos a hidrogênio, não emitem gases de efeito estufa diretamente durante sua operação. O produto final das reações que ocorrem na célula de combustível é exclusivamente água, liberada no estado gasoso ou líquido. Por outro lado, os Veículos Elétricos Híbridos (HEV, do inglês "*Hybrid Electric Vehicle*") representam a resposta da indústria automotiva às necessidades dos condutores que buscam maior autonomia, mas desejam reduzir emissões e/ou alcançar economias, ambas relacionadas ao menor consumo de combustíveis fósseis em comparação com veículos de combustão interna convencionais (LOPES, 2022).

Um sistema de transportes sustentável visa atender às necessidades essenciais de acesso e desenvolvimento para indivíduos, empresas e sociedades, garantindo segurança e respeitando a saúde humana e a qualidade ambiental. Além disso, busca promover a igualdade tanto nas gerações presentes quanto nas futuras. Esse sistema é exequível, equitativo e eficaz em suas operações, proporcionando escolha entre diferentes modos de transporte, impulsionando a competitividade econômica e promovendo um desenvolvimento regional equilibrado. Sua eficácia também se reflete na redução de emissões e resíduos poluentes, priorizando o uso de energias renováveis e minimizando o impacto no uso do solo e na poluição sonora (AGUIAR, 2021).

5.1.8. Tecnologia de Hidrogênio Limpo

O hidrogênio é classificado como um vetor energético, não sendo encontrado isoladamente na natureza e requerendo outra forma de energia para sua produção. Ao contrário de fontes de energia como solar ou eólica, que são consideradas fontes primárias, o hidrogênio atua como um intermediário na cadeia energética. Apresentando-se como um elemento químico simples com apenas um elétron e um próton, possui uma massa atômica reduzida, contudo, destaca-se por sua densidade energética superior à maioria dos combustíveis atualmente em uso. Além disso, suas características, como ser incolor, inodoro e não tóxico, conferem ao hidrogênio um vasto potencial como vetor energético para o futuro (DA COSTA SOUTO e NOGUEIRA, 2021).

A tabela 5 apresenta o poder calorífico inferior dos combustíveis por unidade de massa (MJ/kg) de diversos combustíveis (DA SILVA, 2021).

Tabela 5. Poder calorífico inferior dos combustíveis por unidade de massa (MJ/kg) de diversos combustíveis.

Combustível	Poder Calorífico (MJ/kg)
Hidrogênio	120
Gás Natural liquefeito	54,4
Propano	49,6
Gasolina de aviação	46,8
Gasolina Automotiva	46,4
Diesel Automotivo	45,6
Etanol	29,6
Metanol	19,7

Fonte: Da Silva, 2021.

Conforme indicado pelo Ministério de Minas e Energia - MME (2021), o hidrogênio é um elemento químico com um notável potencial energético. Em comparação, por exemplo, com o diesel, esse potencial pode ser até três vezes superior. Em outras palavras, 1 kg de hidrogênio possui aproximadamente três vezes o conteúdo energético de 1 litro de óleo diesel. Isso se deve ao fato de que o poder calorífico inferior do hidrogênio é igual a 33,29 kWh/kg, enquanto 1 litro de diesel contém 10,24 kWh, considerando seu poder calorífico de 12,0 kWh/kg e densidade (nas Condições Normais de Temperatura e Pressão - CNTP) de 0,853 kg/L.

Ademais, é possível afirmar que uma das principais vantagens do hidrogênio reside em sua capacidade de armazenar energia. Ao ser utilizado como portador de energia química, formado por moléculas em vez de apenas elétrons, como é o caso da eletricidade, torna-se mais viável o transporte e armazenamento, de maneira semelhante a outros combustíveis (MME, 2021). Em outras palavras, é viável gerar eletricidade por meio de qualquer fonte primária de energia e armazenar essa energia utilizando o hidrogênio (SILVA, 2022).










O Brasil desfruta de condições favoráveis que o colocam em uma posição privilegiada para ingressar de maneira competitiva na cadeia do hidrogênio sustentável. Em termos de oferta, o país possui uma diversidade de recursos renováveis, como energia eólica, solar, hidrelétrica e etanol, que podem ser aproveitados na produção de hidrogênio, seja por meio da eletrólise ou da reforma a vapor de gás natural. Ambas as abordagens têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento industrial do país. No

âmbito da demanda, a posição geográfica estratégica e as vastas dimensões territoriais do Brasil ampliam as oportunidades de explorar o hidrogênio tanto no mercado interno, nas indústrias e no transporte, quanto no externo, através de exportações, especialmente para a Europa (CNI, 2022).

O hidrogênio é frequentemente categorizado na literatura por cores, dependendo de sua origem e do eventual emprego de tecnologias de captura, utilização e sequestro de carbono (CCUS - *Carbon Capture Utilisation and Storage*) para reduzir sua pegada de carbono. Apesar de amplamente utilizada, essa classificação, que poderia servir como atributo para políticas públicas e/ou precificação do hidrogênio, não é uniforme na literatura (EPE, 2021).

Na Figura 6 encontra-se a tabela de classificação adotada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2021).

Figura 6. Arco-íris da classificação do hidrogênio em escala de cores.

Cor	Classificação	Descrição
	Hidrogênio preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
	Hidrogênio marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
	Hidrogênio cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
	Hidrogênio azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), sem CCUS
	Hidrogênio verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar)
	Hidrogênio branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
	Hidrogênio turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
	Hidrogênio musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa, com ou sem CCUS
	Hidrogênio rosa	Produzido com fonte de energia nuclear

Fonte: EPE, 2021.

Entre as opções mais promissoras para a produção sustentável de hidrogênio encontra-se o hidrogênio verde, que é obtido por meio da eletrólise da água, utilizando fontes de energia renováveis. Esse método é considerado um processo de geração de energia sem emissões de gases de efeito estufa (GEE). Outra alternativa bastante promissora é o denominado hidrogênio azul, que é produzido a partir da reforma do gás natural. Nesse caso, as emissões significativas de GEE são neutralizadas por meio de técnicas de captura e armazenamento de carbono (CNI, 2022).

A eletrólise é um processo eletroquímico que se caracteriza pela aplicação de uma diferença de potencial elétrico a dois ou mais eletrodos imersos em uma solução

contendo eletrólitos condutores. Com a passagem da corrente elétrica, ocorre um fluxo de elétrons que se deslocam do ânodo para o cátodo. Esse fenômeno físico-químico resulta na formação de bolhas de hidrogênio e oxigênio a partir da eletrólise da água. Esses gases podem ser utilizados de forma independente ou em conjunto (HACHA, 2016).

O processo de produção do hidrogênio azul compartilha semelhanças com o do hidrogênio cinza, ambos derivados do gás natural, principalmente pela tecnologia de reforma a vapor, com o CO₂ como subproduto. A distinção entre essas abordagens reside no fato de que, no caso do hidrogênio azul, são adicionadas etapas de CCUS ao processo. Essas mesmas tecnologias, ou seja, reforma a vapor e CCUS, também são aplicáveis quando a origem do metano é renovável. Este é o caso do hidrogênio musgo, caracterizado por ser proveniente da biomassa (EPE, 2022).

O hidrogênio, por si só, não é adequado para a descarbonização, como apontado pela IEA (2021). A produção de hidrogênio a partir de combustíveis fósseis em 2020 resultou em emissões de dióxido de carbono (CO₂) equivalentes à combinação das emissões da Indonésia e dos Estados Unidos. Portanto, é crucial realizar uma transição nos métodos de produção do hidrogênio para garantir uma produção mais limpa e sustentável, alinhada com os objetivos de redução das emissões de gases de efeito estufa e promoção da descarbonização (SILVA, 2022).

5.2 Desafios e perspectivas das técnicas de descarbonização

As metodologias de descarbonização abordadas neste estudo não são passíveis de comparação direta, dada a presença de características específicas e a aplicação em diversos setores da sociedade. Essa distinção entre as abordagens contribui para um potencial significativo de descarbonização global, desde que essas metodologias sejam implementadas de maneira consistente e abrangente.

Na Tabela 6 encontra-se os desafios e as perspectivas das metodologias de descarbonização que são: Energias Renováveis; Eficiência Energética e Eletrificação; Captura, Armazenamento e comercialização de Carbono; Biocombustíveis; Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC); Florestamento e Reflorestamento; Transporte público e Mobilidade Sustentável; Tecnologia de Hidrogênio Limpo.

Tabela 6. Desafios e perspectivas das metodologias de descarbonização.

Técnica/metodologia	Desafios	Perspectivas	Fontes
Energias Renováveis	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo; • Necessidade de grandes parcelas de área; • Dificuldade de armazenamento; • Variação na constância da matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para a fonte solar, o BNDES financia até 80% de alguns itens, contra 70% para as demais fontes de energia renováveis; • O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), tem como objetivo principal garantir recursos destinados ao apoio de projetos, estudos e financiamento de empreendimentos voltados para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas; • Criação da lei internacional net metering, que consiste na troca de energia gerada residencialmente com energia provinda das redes elétricas, no Brasil foi 	(PEREIRA, 2019) (MME, 2022) (SILVA <i>et al.</i> , 2020)

		<p>publicada pela ANEEL a Resolução Normativa 482/2012 que possui o mesmo intuito.</p> <ul style="list-style-type: none">• Criação dos Programas Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) e Renovabio (Política Nacional de Biocombustíveis);• Proporção equivalente a 48% da matriz no Brasil, três vezes maior que a mundial;• Avanço nas Tecnologias de Armazenamento de Energia;• Aumento da pressão internacional.	
--	--	--	--

Eficiência Energética e Eletrificação	<ul style="list-style-type: none"> • Investimentos Iniciais Elevados; • Infraestrutura Insuficiente como redes elétricas robustas e pontos de recarga para veículos elétricos • Variação na Geração de Energia Renovável: • Resistência a Mudanças: • Alguns setores, como o de transporte de carga pesada e a aviação, enfrentam desafios específicos em termos de eletrificação. • Questões regulatórias, tributárias e na necessidade de atualizações na infraestrutura de distribuição, para geração distribuída • Altas demandas energéticas e à necessidade de reconfiguração de maquinário e processos no setor industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleração da Eletrificação nos Transportes; • Desenvolvimento de Infraestrutura para Mobilidade Elétrica; • Avanço nas Tecnologias de Armazenamento de Energia; • Expansão da Geração Distribuída; • Integração de Tecnologias Inteligentes; • Inovações em Eficiência Energética em Edifícios; • Descarbonização de Setores Industriais; • Evolução dos Modelos de Negócios; • Compromissos Globais e Metas Ambientais; • Consciência Ambiental Crescente. • Aumento da pressão internacional 	(ALMEIDA, 2023) (POTENCIALIZEE, 2023). (FORTES et al., 2020). (EPE, 2021).
Captura, Armazenamento e comercialização de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Custos elevados; • Locais de armazenamento adequado que não ocasionem vazamentos; • Dificuldade no processo de captação no ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta relevância nos meios científicos; • Altos investimentos. • Aumento da pressão internacional 	(AZEVEDO, 2023) (SEBRAE, 2023). (GARATTONI e BRUM, 2023)
Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Variação na Produção Agrícola; • Competição com produção de alimentos; • Uso sustentável da terra; • Eficiência na produção agrícola; 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de resíduos e subprodutos como matéria prima; • Desenvolvimento do mercado internacional; • Utilização no processo de transição energética; 	(SUBRAMANIAM e MASRON, 2020) (CAFFAGNI, 2022) (ANP, 2021) (CONAB, 2021)

		<ul style="list-style-type: none"> • Biocombustíveis avançados; • Inovações tecnológicas; • Aumento da pressão internacional. 	
Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC)	<ul style="list-style-type: none"> • Limitações de infraestrutura e logística do País; • falta de assistência técnica; • Dificuldades para capacitação de técnicos e produtores; • Disponibilidade de recursos financeiros; • Monitoramento do Plano; • Variação na Produção Agrícola; • Resistência a mudanças dos produtores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto já testado, com metas mais ambiciosas; • O plano espera mitigar no total 1.076,14 milhões de Mg CO₂ eq. • Maior orçamento para financiamento. • Melhorias nas condições e valores de venda, dos produtos; • Evolução dos modelos de negócio; • Aumento da pressão internacional 	(EMBRAPA, 2023)
Florestamento e Reflorestamento	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade de atribuir preços; • Incertezas em desastres naturais; • certificação e mercado para os créditos; • Baixo preço do carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento nas vendas diretas do carbono no momento do estabelecimento da floresta; • Aumento gradativo no preço dos créditos; • Projetos aprovados mais do que 91% de sucesso de reduções; • Aumento da pressão internacional 	(SILVEIRA e OLIVEIRA, 2021)
Transporte público e Mobilidade Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> • Limitações de infraestrutura do País; • Alto custo inicial; • Resistência a mudança; • Diferenças na infraestrutura e nas condições socioeconômicas nas regiões do Brasil; 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de modais; • Evolução dos modelos de negócio; • Inovações tecnológicas; • Aumento da pressão internacional. 	(SILVA, 2021) (IMT, 2011) (CORDEIRO, 2022). (MONTEIRO, 2019).

Tecnologia de Hidrogênio Limpo	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de Produção; • Infraestrutura de Abastecimento; • Armazenamento e Distribuição; • Fontes de Matéria-Prima; • Conscientização e Aceitação; • Competição com Outras Tecnologias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação nas aplicações; • Desenvolvimento tecnológico; • Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento • Aumento da pressão internacional. 	(DA COSTA SOUTO e NOGUEIRA, 2021), (CNI, 2022) (SILVA, 2022)
--------------------------------	---	--	--

5.3 Certificação Ambiental: Selo Verde

A partir da década de 70, as questões ambientais ganharam mais destaque devido aos padrões de produção e consumo exacerbados, bem como o uso de recursos naturais de forma descontrolada, considerando que eram infinitos. Dessa forma, a preocupação com o meio ambiente alavancou-se, resultando na mobilização ambiental e em conferências globais sobre sustentabilidade e o futuro do planeta (HISATOMI, 2023).

A necessidade de adotar uma postura ambientalmente responsável nas empresas emergiu em resposta à pressão exercida pela sociedade, governo e organizações não governamentais. Este impulso em direção à gestão ambiental busca harmonizar a produção industrial com as práticas humanas, resultando no surgimento da chamada "consciência verde" no mercado. Como resposta a essa demanda, foram estabelecidas Certificações Ambientais, que visam aplicar padrões, índices e conceitos ambientais em nível global aos processos de produção. Destaca-se, dentre as vantagens proporcionadas por tais certificações, a possibilidade de obter Selos Verdes, os quais atestam a qualidade ambiental dos produtos junto à população em geral (PRECRIMO *et al.*, 2019).

Os consumidores começaram a adotar uma conduta mais ecológica e sustentável na escolha dos produtos. Como resultado, muitas empresas têm conquistado selos ambientais, como o Selo Verde. Que é um tipo de rotulagem ambiental, utilizado principalmente como certificação para identificar produtos com menor impacto ambiental em relação a produtos similares, indicando a responsabilidade da empresa em seu processo produtivo (HISATOMI, 2023).

As certificações ambientais emergiram como um meio de avaliar a sustentabilidade e, adicionalmente, como um indicador de boas práticas na implementação de iniciativas na indústria. Elas são amplamente reconhecidas como uma maneira de autenticar a implementação de ações sustentáveis, em contraposição às propagandas enganosas que ocorrem com frequência no meio comercial (PACOBAYHYBA *et al.*, 2022).

Atualmente, o principal objetivo almejado por empresas em busca da Certificação Ambiental é assegurar a qualidade ambiental em todas as fases de seu processo de produção, abrangendo desde a fabricação até o transporte e a comercialização. Isso reflete uma abordagem abrangente, onde a preocupação ambiental permeia todas as etapas do ciclo produtivo, reforçando o compromisso da empresa com

a sustentabilidade e a redução de impactos negativos ao longo da cadeia de valor (FONSECA *et al.*, 2019).

Empresas que buscam certificações verdes geralmente já implementaram a gestão ambiental por meio de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Para obter selos verdes, é imperativo que essas empresas estejam em total conformidade com a legislação ambiental e atendam aos requisitos exigidos. Um Sistema de Gestão Ambiental é composto por um conjunto de ações e controles que a empresa deve adotar. Essas medidas visam controlar os impactos negativos que suas atividades podem ter no meio ambiente, ao mesmo tempo em que buscam promover o uso sustentável dos recursos naturais (LEMA, 2021).

Dentre as normas ambientais que foram desenvolvidas, a ISO 14001 destaca-se como a mais bem-sucedida globalmente. Lançada em 1996, quatro anos após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, a ISO 14001 foi concebida com o propósito de incentivar as empresas a adotarem controles ambientais por meio de sistemas de gestão ambiental. Essa norma internacional estabelece diretrizes e critérios para que as organizações possam implementar práticas ambientais sustentáveis, promovendo a responsabilidade ambiental e a melhoria contínua em suas operações (FONSECA *et al.*, 2019).

A norma ISO 14001 é adaptável a uma ampla variedade de empresas, sendo facilmente integrada a outros sistemas de gestão ISO. Ela demanda que as empresas considerem todos os aspectos ambientais relevantes em suas operações, abrangendo questões como poluição atmosférica, tratamento de água e esgoto, gestão de resíduos, contaminação do solo, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, além da eficiência na utilização dos recursos. A abordagem preconizada pela norma enfatiza a melhoria contínua em relação às preocupações ambientais, estimulando as organizações a aprimorar constantemente suas práticas e desempenho ambiental (ISO, 2015).

Uma característica fundamental da ISO 14001 é sua generalidade, possibilitando sua aplicação em diversos setores de atividade. A norma não impõe objetivos ou estratégias específicas, permitindo que as organizações estabeleçam seus próprios objetivos e definam medidas de desempenho de acordo com o tipo de indústria e suas necessidades específicas. Essa flexibilidade permite que as empresas personalizem suas abordagens e metas ambientais, promovendo uma implementação mais eficaz e adaptada às particularidades de cada setor (SARTOR; ORZES; MORAS, 2019).

A ISO estabeleceu uma classificação de selos ambientais divididos em três tipos (SOLDERA, 2022):

- Tipo I: Esses selos são concedidos por uma instituição de terceira parte e baseiam-se em critérios de ciclo de vida. A norma regulamentadora para esse tipo é a NBR ISO 14024, que estabelece princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas de rotulagem ambiental. Isso inclui a seleção de categorias de produtos, critérios ambientais, características funcionais dos produtos e critérios para avaliar e demonstrar sua conformidade.
- Tipo II: Nesse caso, as declarações ambientais são autodeclaradas e informativas, sendo feitas pelo próprio fabricante. A norma regulamentadora para esse tipo é a NBR ISO 14021, que permite às empresas comunicarem na mídia os benefícios ambientais alcançados por seus produtos. A norma descreve uma metodologia de avaliação e verificação geral para rótulos ambientais autodeclarados e métodos específicos de avaliação e verificação para as declarações selecionadas.
- Tipo III: Este tipo de selo exige a avaliação do ciclo de vida como requisito. Trata-se de um programa voluntário que fornece dados baseados em critérios de terceira parte. Devido à complexidade da implementação da ferramenta de análise, esses selos são geralmente utilizados em transações entre empresas (business to business). Isso permite que um importador solicite o selo ao produtor internacional, sem que essa ação seja considerada uma barreira alfandegária.

No contexto brasileiro, existe uma variedade de certificações ambientais que vão além da ISO 14001, sendo que as mais proeminentes estão detalhadas na Tabela X (SEBRAE, 2023).

Tabela 7. Certificações verdes e suas descrições.

Certificações Verdes	Descrição
Instituto Biodinamico (IBD)	Certifica alimentos, cosméticos e algodão orgânicos. A empresa só obtém esse selo se não utilizar agrotóxicos em suas produções
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel)	Para equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, destacam-se aqueles que apresentam os melhores níveis de eficiência energética. Geladeiras e aparelhos de ar-condicionado, por exemplo, utilizam esse selo.
Rainflorest Alliance Certified	Garantia para produtos agrícolas, como frutas, café, cacau, chás, entre outros.

	Busca o respeito à biodiversidade e aos trabalhadores rurais.
Ecocert	Certifica alimentos orgânicos e cosméticos orgânicos ou naturais. Para obter este selo verde, os alimentos processados precisam apresentar, ao menos, 95% de ingredientes orgânicos e os cosméticos devem ser produzidos com, ao menos, 95% de ingredientes vegetais e orgânicos certificados.
Forest Stewardship Council (FSC)	Voltado para áreas e produtos florestais, como toras de madeira, móveis, lenha, papel, nozes e sementes. A indústria gráfica, por exemplo, utiliza o selo FSC.
BREEAM	Para o desempenho das medidas de redução de impacto ambiental na construção civil.
Carbon Trust Standard	Selo verde muito desejado por indústrias que reduzem o consumo de energia, de água e diminuem as emissões de CO ₂ .
Liderança em Energia e Design Ambiental (LEDD)	Utilizado em 143 países, esse selo busca a transformação dos projetos, obras e operações das edificações com foco na sustentabilidade
Procel Edifica	O objetivo do selo é promover o uso racional da energia em todas as fases das edificações

Fonte: SEBRAE, 2023.

Segundo Soldera (2022), adotar práticas de gestão ambiental oferece vantagens significativas, não apenas contribuindo para a preservação do meio ambiente por meio de processos produtivos mais sustentáveis, mas também impulsionando a competitividade no mercado. As principais vantagens incluem:

- Redução de custos: a empresa pode diminuir os custos na cadeia de produção ao reduzir o consumo de recursos ambientais, como água, energia elétrica e materiais de embalagem. Isso não apenas resulta em eficiência financeira, mas também minimiza o desperdício.
- Ganho na competitividade: empresas com abordagens sustentáveis atraem investidores interessados em minimizar riscos, incluindo os ambientais. A ênfase crescente no ESG (*Environmental, Social and Governance*) destaca a importância das práticas empresariais responsáveis. Fundos de investimento direcionam mais recursos para empresas comprometidas não apenas com o lucro, mas também com questões

sociais e ambientais. Além disso, os consumidores valorizam cada vez mais produtos com menor impacto ambiental.

- Credibilidade no mercado: a obtenção de um selo verde proporciona à empresa uma imagem mais positiva no mercado, resultando em maior credibilidade. Isso, por sua vez, abre portas para oportunidades como exportações, melhoria no valor da empresa na bolsa de valores e aumento de investimentos.
- Melhor relacionamento interno: a implementação de práticas sustentáveis gera uma mudança de percepção entre funcionários, prestadores de serviços, colaboradores e parceiros. Esse comprometimento promove uma maior conscientização e contribuição para um ambiente mais saudável, resultando em um relacionamento interno mais sólido e engajado.

6. CONCLUSÃO

A análise das informações coletadas permitiu examinar a situação atual e os desafios enfrentados pelos setores mencionados, assim como as perspectivas e metas para o futuro no Brasil e no mundo. Dentre os desafios identificados, destacam-se os altos investimentos iniciais, a ausência de infraestrutura e logística no país, resistência a mudanças, e as incertezas relacionadas ao armazenamento de energias renováveis e à captura de carbono. No que diz respeito às perspectivas, foram notáveis o aumento da pressão internacional, o desenvolvimento tecnológico, a evolução dos modelos de negócio, a integração entre diferentes tecnologias, e a incorporação de outras técnicas.

Fica evidente que a incorporação de práticas de gestão ambiental nas empresas não apenas atende às demandas da sociedade contemporânea, mas também representa uma estratégia fundamental para a sustentabilidade e competitividade no mercado global. O movimento em direção a certificações ambientais, como a ISO 14001 e outras mencionadas, reflete não apenas uma resposta às pressões externas, mas uma conscientização crescente sobre a importância da responsabilidade ambiental nas operações corporativas. Os benefícios derivados da gestão ambiental vão além da preservação do meio ambiente, incluindo a redução de custos, o ganho de competitividade, a credibilidade no mercado e a melhoria nos relacionamentos internos. À medida que a consciência ambiental se torna um fator determinante nas escolhas dos consumidores e investidores, as empresas que adotam uma abordagem sustentável estão posicionadas para prosperar no cenário empresarial atual e futuro.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Mariana Martins. **A urgência da mobilidade sustentável o papel do financiamento dos transportes coletivos.** Dissertação (Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território) - Universidade NOVA de Lisboa, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, 2021.

ALMEIDA, Bruno Francisco da Cunha. **Desafios da descarbonização da economia: tecnologias sustentáveis para economias de baixo carbono.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial) – Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Politécnico de Viseu, 2023.

AMPONSAH, N. Y.; TROLDORG, M.; KINGTON, B.; AALDERS, I.; HOUGH, R. L. **Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 461–475, 2014.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2020). **Especificação do biodiesel.** Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>. Acesso em: 07/11/2023

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2021). **Biocombustíveis. Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 13% a partir de hoje (1/3).** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3. Acesso em: 08/11/2023

ARAÚJO, E.; SILVA, M.; RIBEIRO, R. **Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos.** Braga, Portugal: CECS – Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade Universidade do Minho. 2020.

ARAÚJO, RS de.; SOUSA, FLN de.; VANDERLEY, PS.; BENTES, SO da S.; GOMES, L.M.; FERREIRA, FCL. **Fontes de energia renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre práticas sustentáveis.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.] , v. 11, pág. e468111133893, 2022.

ARTAXO, Paulo. **Dossiê: Clima.** Revista USP, São Paulo, n. 103, p. 8-12, 2014.

AZEVEDO, Julia. **O que é hidrogênio verde e qual sua importância?** Ecycle: Energia. 2023. Disponível:<https://www.ecycle.com.br/hidrogenio-verde/>. Acesso em: 04/02/2023.

BALAJI, V. R.; SUDHA, M. **Solar powered auto irrigation system.** *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE)*, 20(2), 203–206, 2016.

BERNADES, D. M.; CELESTE, W. C.; DINIZ CHAVES, G. L. **Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica de equipamentos e**

tecnologias. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 7, pág. e606973957, 2020.

BERNARDO, João. **Um novo paradigma no setor energético.** 2021. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/38047/1/Um%20novo%20paradigma%20no%20setor%20energ%C3%A9tico.pdf>. Acesso em: 06/11/2023

BESSA, Daniela de Moraes. **Ciclo do carbono na floresta amazônica: percepções ambientais de moradores da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazônia Ocidental, Brasil.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

BOSCHI, Gregori. **Rotas tecnológicas para eficiência energética e descarbonização na cadeia de valor do setor de transporte rodoviário de carga no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Gestão para a Competitividade) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2022.

BRAGA, B. **Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2005. 313 p.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da **Política Nacional de Mobilidade Urbana.** Diário Oficial da União, Brasília – DF, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm Acesso em: 08/11/2023

BÜNZLI, J. C. G.; ELISEEVA, S. V. **Lanthanide NIR luminescence for telecommunications, bioanalyses and solar energy conversion.** Journal of Rare Earths, 28(6), 824–842, 2010.

CAFFAGNI, Luiz Cláudio. **CBIO, o ativo financeiro ambiental nacional dos biocombustíveis.** AgroANALYSIS, v. 42, n. 1, p. 36-39, 2022.

CALESTINI, E. D. N. **A Questão dos Créditos de Carbono e Sua Viabilidade Econômica Ambiental.** 212 p. Dissertação (Geografia Física) — Universidade de São Paulo Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2012.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a indústria brasileira.** Confederação Nacional da Indústria, 137 p., Brasília, 2022. Disponível em: <http://iepuc.puc-rio.br/dados/artigos/Hidrogenio-Sustentavel.pdf>. Acesso em: 09/11/2023

CONAB - Unidade Armazenadora da Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira.** 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/45236_22907ba0da29e3364b66c913e9557ec9. Acesso em: 08/11/2023

CORDEIRO, João Eduardo Garção. **Índice de mobilidade sustentável da Área Metropolitana de Lisboa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, 2022.

CORREIA, Ricardo Jorge de Sousa. **Potencial De Sequestro De Carbono Da Força Aérea: Contributos Para A Sua Otimização.** IUM - CRC - CPOS - FA - Trabalhos de Investigação Individual, 2022.

DA COSTA SOUTO, Hugo José; NOGUEIRA, Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto. **O hidrogênio como vetor energético do futuro.** Neutro à Terra, n. 28, p. 47-53, 2021.

DA SILVA, Débora Cristina Ferreira. **Os principais desafios do uso do hidrogênio no contexto brasileiro para a descarbonização: uma breve revisão bibliográfica.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Instituto de Energia da PUC, Coordenação Central de Extensão, 2021.

DE LUCA, E.; ZINI, A. O.; COLETTA, G.; OTERI, M. G.; GIUFFRIDA, L. G.; GRADITI, G. **A technology evaluation method for assessing the potential contribution of energy technologies to decarbonisation of the Italian production system.** International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, p. 41-56, 2020.

Descarbonização. IBERDOLA. 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/descarbonizacao-economia-principios-acoeregulacao#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20descarboniza%C3%A7%C3%A3o%3F,clim%C3%A1tica%20atrav%C3%A9s%20da%20transi%C3%A7%C3%A3o%20energ%C3%A9tica>. Acesso em: 04/02/2023.

DUARTE, V. H.; VALENTINI, M. H. K.; DOS SANTOS, G. B.; NADALETTI, W. C.; VIEIRA, B. M. **Biocombustíveis: Uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel.** Meio Ambiente (Brasil), v. 4, n. 2, 2022.

EBADIAN, M.; VAN DYK, S.; MCMILLAN, J. D.; SADDLER, J. **Biofuels policies that have encouraged their production and use: An international perspective.** Energy Policy, 147, 111906, 2020.

ELEKTRO; UNIFEI; EXCEN; FUPAI. **Eficiência Energética: fundamentos e aplicações.** Retrieved Nov 25, Campinas, 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio: revisão 1.** 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20(1).pdf). Acesso em: 09/11/2023

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência Energética.** 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 06/11/2023

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Hidrogênio azul: produção a partir da reforma do gás natural com CCUS.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/notas-tecnicas-dedicadas-ao-hidrogenio-cinza-e-ao-hidrogenio-azul>. Acesso em: 09/11/2023

FACHIN, Patrícia. **América Latina: qual está sendo e será o papel dos seus países na descarbonização mundial.** Entrevista especial com Carlos Germán.

FONSECA, B. D.; RODRIGUES, E. F. D. S.; CAMELO, J. B.; DIAS, M. D. P. B.; KROGER, T. K. N. H. **Certificação ISO 14000.** Projeto integrado, Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos, Curso de Gestão De Recursos Humanos, 2019.

FORTES, Patrícia; DIAS, Luís; SIMÕES, Sofia. **O papel da electrificação no futuro da descarbonização em Portugal.** Revista Indústria e Ambiente, v. 125, p. 12-14, 2020.

FREITAS, C. V. M. de; SILVA, M. L. P. da. **Mudanças do Clima: Análise das Conferências que trataram do Mercado de Carbono e seus principais resultados.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 75332 – 75342, 2020.

GARATTONI, Bruno e BRUM, Maurício. **A verdade sobre a captura de carbono.** Revista Super Interessante, 2023. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/a-verdade-sobre-a-captura-de-carbono>. Acesso em: 23/10/2023

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **O papel da dimensão ambiental na ocupação do MATOPIBA.** Confins, v. 35, 2018.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energy, Environment and Development.** 2ª ed. Londres: Editora Earthscan, 439 p., 2009.

HIBBARD, K.A. **The Carbon Challenge. International Geosphere Biosphere Programme.** Stockholm, jun., 2001.

HISATOMI, Carolina. **Entenda o que é o selo verde e para que serve.** Ecycle: Consumo e Produção. 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/selo-verde/>. Acesso em: 04/02/2023.

HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; KHANALI, M.; DEMIRBAS, A. **A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives.** Energy Conversion and Management, 174, 579-614, 2018.

HU, Y.; BAI, Y.; LUO, B.; WANG, S.; HU, H.; CHEN, P.; LYU, M.; SHAPTER, J.; ROWAN, A.; WANG, L. **A portable and efficient solar-rechargeable battery with ultrafast photo-charge/discharge rate.** Advanced Energy Materials, 9(28), 1900872, 2019.

HUSSEIN, A. A. H.; BATARSEH, I. **A review of charging algorithms for nickel and lithium battery chargers.** IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60(3), 830–838, 2011.

IEA - International Energy Agency. **Global Hydrogen Review 2021.** 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abdae9c507a62341/Global>. Acesso em: 09/11/2023

IEI - International Energy Initiative. **Projeto Geração distribuída, eficiência energética e o consumidor final: propostas para a realidade brasileira.** Retrieved Nov 23, 2019.

IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes. **Glossário do Pacote da Mobilidade.** Pacote da Mobilidade - Territ. Acessibilidade e Gestão Mobilidade 2011, 20.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. **Mudanças Climáticas.** 2017. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>. Acesso em: 05/02/2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 1995: the Science of Climate Change.** Nova Iorque: Cambridge University Press, 1996.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2021: the physical science basis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

ISO - International Organization for Standardization. **Introduction to ISO 14001:2015.** 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/publication/PUB100371.html>. Acesso em: 11/11/2023

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento. **O que é micromobilidade?** 2020. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2020/04/O-que-%C3%A9-micromobilidade.pdf>. Acesso em: 08/11/2023

KHAN, J.; ARSALAN, M. H. **Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 414–425, 2016.

KIM, Y.; TANAKA, K.; MATSUOKA, S. **Environmental and economic effectiveness of the Kyoto Protocol.** PLOS ONE, 15(7), 2020.

KRUGER, Cristiane; RAMOS, Lucas Feksa. **Iluminação pública e eficiência energética.** Revista Espaço Acadêmico, v. 185, pág. 37-49, 2016.

LEE, C. W.; KIM, O. Y.; LEE, J. Y. **Organic materials for organic electronic devices.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20(4), 1198–1208, 2014.

LEGNAIOLI, Stella. **Saiba o que são mudanças climáticas.** Ecycle: Clima. 2023.

LEMA. **Certificações Verdes: Por Que E Quais Sua Empresa Precisa?** 2021. Disponível em: <https://lemaambiental.com.br/certificacoes-verdes-por-que-e-quais-sua-empresa-precisa/>. Acesso em: 11/11/2023

LIU, W.; YAN, Y.; WANG, D.; MA, W. **Integrate carbon dynamics models for assessing the impact of land use intervention on carbon sequestration ecosystem service.** Ecological Indicators, 91, 268–277, 2018.

LOPES, Carlos Alexandre Baptista. **Mobilidade elétrica: o contributo dos veículos elétricos para a descarbonização do setor de transporte, em Portugal.** Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, 2022.

LUCHESE, LUCAS. **Potencial de sequestro de carbono em sistemas florestais e agroflorestais de castanheiro (Castanea sativa Mill.).** Instituto Politécnico de Bragança, Biblioteca digital, 2023.

LUDIN, N. A.; MUSTAFA, N. I.; HANAFIAH, M. M.; IBRAHIM, M. A.; ASRI MAT TERIDI, M.; SEPEAI, S.; ZAHARIM, A.; SOPIAN, K. **Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 96, 11–28, 2018.

MANTHIRAM, A.; FU, Y.; SU, Y. S. **Challenges and prospects of lithium–sulfur batteries.** Accounts of Chemical Research, 46(5), 1125–1134, 2013.

MAPA - Ministério de Agricultura e Pecuária. **Programas e Estratégias ABC+.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/programas-e-estrategias>. Acesso em: 11/11/2023

MARQUES, W.; SANTOS, A.; ALVES, E.; ROLLIM, J.; PINTO, M. **O sol nasce para todos: sustentabilidade mediante telhas fotovoltaicas de concreto.** Revista de Engenharia e Tecnologia, 14(1), 2022.

MARTINHO, João Pedro da Costa; FIALHO NETO, Renato Gonçalves. **Descarbonização energética a partir da biomassa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Protocolo de Quioto.** Protocolos Climáticos, p. 1 – 29, 2005. Disponível em: http://mudancasclimaticas:cptec:inpe:br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quioto:pdf. Acesso em: 10/11/2023

MME - Ministério de Minas e Energia. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde.** 2021. Disponível em: https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf. Acesso em: 09/11/2023

MONTEIRO, João. **Transição para a cidade pós-carbônica: uma proposta de mobilidade sustentável para Vizela.** The Overarching Issues of the European Space- a strategic (re)positioning of environmental and socio-economic problems? Porto, Fac. Letras Univ. Porto. pp. 240-254, 2019.

MOREIRA, R.; CARVALHO, F. M. S.; BERGAMASCHI, V. S.; POLITANO, R. **Patentes depositadas em âmbito nacional como indicador de desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio.** São Paulo: Química Nova. 5º ed., Vol. 36.

NETO, Miguel de Castro; ALPALHÃO, Nuno; PEREIRA, Mauro; GOMES, Ana Mouro; BAPTISTA, Alexandre. **Mobilidade Inteligente: Uma nova abordagem no planejamento e gestão da mobilidade urbana – o caso das ciclovias**. NOVA Cidade – Urban Analytics Lab., 113 p. Lisboa, 2021.

NOBRE, C.A. *et al.* (2023) **Nova Economia da Amazônia**. São Paulo: WRI Brasil. Relatório. Disponível online em: www.wribrasil.org.br/nova-economia-da-amazonia. Acesso em: 05/02/2023.

O que é hidrogênio verde e como o Brasil pode se tornar uma potência nesse setor. INFOMONEY. 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/negocios/o-quee-hidrogenio-verde-e-como-o-brasil-pode-se-tornar-uma-potencia-nesse-setor/>. Acesso em: 05/02/2023.

OKASHA, A. M.; IBRAHIM, H. G.; ELMETWALLI, A. H.; KHEDHER, K. M.; YASEEN, Z. M.; ELSAYED, S. **Designing low-cost capacitive-based soil moisture sensor and smart monitoring unit operated by solar cells for greenhouse irrigation management**. *Sensors*, 21(16), 5387, 2021.

OLIVEIRA, G. M.; VIDAL, D. G.; MAIA, R. L.; ESTRADA, R.; LEMOS DE SOUSA, M. J. **O que significa descarbonizar? Uma visão da sociedade atual sem energia fóssil**. *Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos*, p. 9-27, 2020.

OLIVEIRA, J. F. de. **O mercado de crédito de carbono como vantagem competitiva entra as empresas**. 29 p. Dissertação (Administração) — Universidade Federal de Ouro Preto - Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas, 2021.

OLIVEIRA, Y. P. L. O. **Desafios do mercado de carbono após o Acordo de Paris, uma revisão narrativa**. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 4, n. 1, p. 02-20, 2022.

PEIXOTO, C. **A descarbonização e o hidrogênio no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/a-descarbonizacao-e-o-hidrogenio-no-brasil/>. Acesso em: 05/02/2023.

POTENCIALIZEE – Programa Investimentos Transformadores de Eficiência Energética na Indústria. **Eficiência Energética: o que é e quais as vantagens?** 2023. Disponível em: <https://www.programa-potencializee.com.br/noticias/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 06/11/2023

PRECRIMO, T. F.; MARINO, M. T. R. D.; FAÇANHA, M. C.; LIMA, L. H.; MORAES, S. G. **Adoção do selo verde em uma empresa do setor agrícola: barreira ou oportunidade estratégica?** X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Fortaleza – CE, 2019.

REN, J.; KAN, Z. **Photovoltaic Sustainability and Management**. AIP Publishing, 2021.

REN21. 2022. **RENEWABLES 2022: GLOBAL STATUS REPORT**.

SALES, J. R.; NORONHA, W. A. V.; PENACHIOTTI, A. G.; FONSECA, B. G. **A importância da mobilidade urbana de forma sustentável.** Revista Científica Unilago, v. 1, n. 1, 2020.

SARTOR, M.; ORZES, G.; TOUBOULIC, A.; CULOT, G.; NASSIMBENI, G. **ISO 14001 standard: Literature review and theory-based research agenda.** Quality Management Journal, 26(1), 32-64, 2019.

SCHUSS, C.; EICHBERGER, B.; RAHKONEN, T. **Design specifications and guidelines for efficient solar chargers of mobile phones.** International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14), 1–5, 2014.

SEBRAE. **Você sabe o que é selo verde?** 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/voce-sabe-o-que-e-selo-verde,a031949fca8e4810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 11/11/2023

SEHRAWAT, P.; MALIK, R. K.; KHATKAR, S. P.; TAXAK, V. B. **Highly efficient green glimmering Y3Al5O12: Er³⁺ + NPs for next generation electro optic appliances, mainly white LEDs and solar cells.** Chemical Physics Letters, 773, 138592, 2021.

SILVA, Ana Cláudia Andriolli Vieira da. **Transições urbanas, um contributo à descarbonização.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2021.

SILVA, L. T.; DANA, M. C. **Regulação do hidrogênio no Brasil: descarbonização do setor de óleo e gás para metas climáticas.** Rio Oil & Gas Expo And Conference, 2020.

SILVA, M. R. V.; RAMOS, R. F.; GILSON, I. K.; MORELATO, R. R.; RADUNZ, A. L.; DA COSTA CABRERA, L. **Energia eólica, solar e de biomassa: uso, perspectiva e desafios.** Biodiversidade, v. 19, n. 4, 2020.

SILVA, Thamyres de Andrade. **O hidrogênio na geração distribuída: desafios e possibilidades.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. João Pessoa, 2022.

SOLDERA, Bruna. **O que é um selo verde?** Instituto Água Sustentável, 2022. Disponível em: <https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/154-o-que-e-o-selo-verde>. Acesso em: 11/11/2023

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. **Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, 42(1), 52-80, 2017.

SOVACOOOL, B. K.; MONYEI, C. G. **Positive Externalities of Decarbonization: Quantifying the Full Potential of Avoided Deaths and Displaced Carbon Emissions from Renewable Energy and Nuclear Power.** Environmental Science & Technology, 55(8), 5258–5271, 2021.

STENAVATO, Luis Henrique Amaral. **Inventário de descarbonização para conquista de crédito de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) – Universidade ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” - FACULDADE DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ROSANA, Primavera-Rosana, 2022.

SUBRAMANIAM, Y., MASRON, T. A. **The impact of economic globalization on biofuel in developing countries**. *Energy Conversion and Management*: X, p. 100064, 2020.

SYAFIYUDDIN, A.; CHONG, J. H.; YUNIARTO, A.; HADIBARATA, T. **The current scenario and challenges of biodiesel production in Asian countries: A review**. *Bioresource Technology Reports*, p. 100608, 2020.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J. **Crescimento da agropecuária e sustentabilidade ambiental**. In: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). *Diagnósticos e desafios da agricultura brasileira*. Brasília: Ipea, 2019. cap. 3, p. 89-114.

TELLES, T. S.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; RIGHETTO, A. J.; RIBEIRO, M. R. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Texto para Discussão, No. 2638, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2021.

TEO, K. Y.; TIONG, M. H.; WEE, H. Y.; JASIN, N.; LIU, Z. Q.; SHIU, M. Y.; TANG, J. Y.; TSAI, J. K.; RAHAMATHULLAH, R.; KHAIRUL, W. M. **The influence of the push pull effect and a π conjugated system in conversion efficiency of bis chalcone compounds in a dye sensitized solar cell**. *Journal of Molecular Structure*, 1143, 42–48, 2017.

TSUEI, C. H.; SUN, W. S.; KUO, C. C. **Hybrid sunlight/LED illumination and renewable solar energy saving concepts for indoor lighting**. *Optics Express*, 18 (104), A640–A653, 2010.

UN - United Nations. **Paris Agreement**. Paris: UN, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 10/11/2023

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2021). **NDC Registry**. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 10/11/2023

USMAN, M.; ZEB, Z.; ULLAH, H.; SULIMAN, M. H.; HUMAYUN, M.; ULLAH, L.; SHAH, S. N. A.; AHMED, U.; SAEED, M. **A review of metal organic frameworks/graphitic carbon nitride composites for solar - driven green H₂ production, CO₂ reduction, and water purification**. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 107548, 2022.

VIDAL, Maria de Fátima. **Produção e uso de biocombustíveis no Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, Caderno Setorial ETENE, ano 4, n. 79, maio 2019.

VIOLA, E. **A dinâmica das potências climáticas e o acordo de Copenhague.** Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Edição Especial (23-24), 16-22, 2010.

WILD-SCHOLTEN, M.; GROET, G.; CASSAGNE, V.; HULD, T. **Solar resources and carbon footprint of photovoltaic power in different regions in europe.** 10, 2014.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Climate Watch Historical GHG Emissions.** Washington: World Resources Institute, 2021.

ZABED, H. M.; AKTER, S.; YUN, J.; ZHANG, G.; ZHANG, Y.; Q. I. X. **Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 117, p. 109503, 2020.