



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

JOEL JOÃO DOS SANTOS MAZUMBUA

**A PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA REDUÇÃO DE CO₂ NA MATRIZ
ELÉTRICA BRASILEIRA**

REDENÇÃO - CEARÁ

2022

JOEL JOÃO DOS SANTOS MAZUMBUA

**A PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA REDUÇÃO DE CO₂ NA MATRIZ
ELÉTRICA BRASILEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Helena Dantas de Lima.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira Sistema
de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Mazumbua, Joel Joao Dos Santos.M476p

A participação da energia eólica para redução de CO2 na matriz elétrica brasileira / Joel Joao Dos Santos Mazumbua. - Redenção, 2023.
41fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Silvia Helena Dantas de Lima.

1. Energia. 2. Eólica. 3. Elétrica. I. Lima, Silvia Helena Dantas de. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 621.45

JOEL JOÃO DOS SANTOS MAZUMBUA

A PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA REDUÇÃO DE CO₂ NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias, do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Aprovado em: 14/02/ 2022

TERMO DE APROVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 SILVIA HELENA DANTAS DE LIMA
Data: 25/02/2022 14:50:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dra. Silvia Helena Dantas de Lima

Presidente da Banca Examinadora (IEDS/UNILAB)

Documento assinado digitalmente
 REJANE FELIX PEREIRA
Data: 25/02/2022 14:06:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dra. Rejane Felix Pereira

Membro da Banca Examinadora (IEDS/UNILAB)

Documento assinado digitalmente
 MARCUS VINICIUS SOUSA RODRIGUES
Data: 25/02/2022 07:27:36-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Marcus Vinícius Sousa Rodrigues
Membro da Banca Examinadora (CCET/UFMA)

“Deus de olhos a quem me odeia,
mais que a mim ninguém me veja”.
Allen Halloween.

AGRADECIMENTOS

Quero primeiramente agradecer a Deus pela oportunidade que me concedeu por ter chegado até aqui e por me fortalecer todas as vezes que me abalei.

Aos meus pais, Costa Mazumbua António, a minha querida mãe Tablita Joao dos Santos, a minha irmã Celma Domingas dos Santos Mazumbua, Ildo da Costa Mazumbua, ao tio António Malulú, as minhas tias Carlota Carlos, Landinha Carlos e Isabel Carlos, e Ilda António Mazumbua pela força pelo apoio e por acreditarem e estarem comigo durante o período de formação.

Grato também pelos meus irmãos e manos, Nurio Coutinho Mazumbua, Benvindo Carlos Timóteo, Bruno Carlos Timóteo, Milton Luis Filipe Muhongo, ao Jeremias Baia Armando, André António Francisco, Lutonádio Dombelé Gabriel, Lutuima Ambrósio Neto, Joao Evangelista Ambrósio, Efilione Noez Dias, Gilson Manuel, Hermelindo Chico e Ditzuzaya Panguila, Filipe Ribeiro Pinto e Augusto Pacatto.

As minhas cassulas Luzia Maweza e Rosimery Maweza, a Monica Sindy Lucala e Cristina Lucala pelo suporte, a minha maninha Adriana Lady, e todos aqueles que não citei, de alguma forma o meu muito abrigado.

À minha Orientadora Dra. Silvia Helena Dantas de Lima, por ter aceite o convite e por toda disponibilidade, incentivo, orientação e paciência durante a elaboração deste trabalho, agradeço também a professora Dr. Rejane Felix Pereira e toda banca.

Por fim a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, por me proporcionar diversas oportunidades ao decorrer desse período.

RESUMO

A energia elétrica é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento da sociedade moderna. Por outro lado, sua geração é responsável por diferentes externalidades ambientais que afetam direta e indiretamente a população. A preocupação com estes impactos ao meio ambiente iniciou-se na década de 1970 e teve como consequência o questionamento dos processos produtivos e práticas de exploração ambiental. Atualmente é senso comum que a intensificação do efeito estufa e suas consequentes mudanças climáticas estão relacionadas com o aumento de gases na atmosfera, notadamente do dióxido de carbono (CO₂), e que estes decorrem de atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis nas atividades de transporte, processos industriais e na geração de energia elétrica. Para minimizar esta problemática, as nações tem firmado periodicamente o compromisso de estabelecer metas de redução do (CO₂), e para isso buscam ampliar suas matrizes elétricas para fontes renováveis. Neste sentido, com este trabalho, observou-se que o Brasil busca o cumprimento dessas metas de redução. O País tem papel de destaque na geração de energia elétrica renovável, principalmente da energia hidroelétrica e apresenta grande potencial de ampliação da contribuição da energia eólica em sua matriz elétrica.

Palavras chave: Emissões de CO₂, Energia eólica Matriz elétrica.

ABSTRACT

Electric energy is one of the fundamental pillars for the development of modern society. On the other hand, its generation is responsible for different environmental externalities that directly and indirectly affect the population. The concern with these impacts on the environment began in the 1970s and resulted in the questioning of production processes and practices of environmental exploitation. Currently, it is common sense that the intensification of the greenhouse effect and its consequent climate change are related to the increase of gases in the atmosphere, notably carbon dioxide (CO₂), and that these result from human activities, such as the burning of fossil fuels in activities transportation, industrial processes and electricity generation. In order to minimize this problem, nations have periodically signed a commitment to establish CO₂ reduction goals, and for that they seek to expand their electrical matrices to renewable sources. In this sense, with this work, it was observed that Brazil seeks to meet these reduction targets. The country plays a leading role in the generation of renewable electricity, mainly hydroelectric energy, and has great potential for expanding the contribution of wind energy to its electricity matrix.

Keyword: CO₂ Emissions, Windy Energy, Electrical Matrix.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABEEOLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
BEN	Balanco Energético Nacional
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para Desenvolvimento Sustentável
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP21	Conferencia das Partes
CO ₂ -eq	Dióxido de Carbono Equivalente
CUMA	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E.U.A	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
IEA	Agencia Internacional de Energia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRENA	Agencia Internacional de Engenharia Renováveis.
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
N ₂ O	Óxido Nitroso
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
SDOs	Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio
tCO ₂	Tonelada de Dióxido de Carbono
UDOP	União Nacional de Bioenergia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico dos países com maior acúmulo de emissões de 1850 a 2021.....	21
Figura 2: Gráfico de Emissões de CO ₂ (kg) MWh (2018).....	21
Figura 3: Emissões globais de CO ₂ relacionadas à energia, 1990-2021	22
Figura 4: Mudança observada na temperatura global e respostas modeladas para emissão antrópica estilizada e trajetórias de forçante (Aquecimento global referente a 1850-1900 °C).	23
Figura 5: Matriz Energética Mundial (2019).....	26
Figura 6: Matriz Energética Brasileira	28
Figura 7: Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo para o ano de 2019.....	29
Figura 8: Matriz Elétrica Brasileira	30
Figura 9: Evolução da capacidade instalada de Energia Eólica em (MW) de 2013 a 2020	34
Figura 10: Gráfico de Emissões de CO ₂ em toneladas evitadas pela Energia Eólica no período de 2013 a 2020.....	35
Figura 11: Toneladas de Emissões de CO ₂ evitadas por mês em 2020	35

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	11
	1.1 Objetivo geral	12
	1.2 Objetivo específico	12
2	CARACTERÍSTICAS DO CO₂ E SEUS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE...	13
3	CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL: CONFERÊNCIAS INTERNACIONAIS.....	16
	3.1 Conferência de Estocolmo	16
	3.2 Protocolo de Montreal	17
	3.3 Conferencia Rio 92	17
	3.4 Protocolo de Kyoto	18
	3.5 Acordo de Paris	19
4	EMISSÕES DE CO₂ E ATIVIDADES HUMANAS	20
	4.1 Emissões de CO ₂ na geração de energia elétrica	21
	4.2 Emissões de CO ₂ no Brasil	23
	4.3 Emissões de CO ₂ por fonte e sector	24
5	ENERGIAS RENOVÁVEIS E AS EMISSÕES DE CO₂.....	26
	5.1 Matriz Energética Mundial e Brasileira.....	26
	5.2 Matriz Energética Brasileira	27
	5.3 Matriz Elétrica Brasileira.....	29
	5.4 Energia Eólica.....	31
	5.4.1 Impactos ambientais e emissões de CO ₂	32
	5.4.2 Evolução da energia eólica no Brasil.....	33
	5.4.3 Contribuição da energia eólica para a redução de emissões de CO ₂ na matriz elétrica Brasileira	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

É indiscutível o papel da geração de energia elétrica para o crescimento da sociedade moderna nos seus mais diversos aspectos. A sociedade capitalista é caracterizada por grandes incentivos ao consumo de bens manufaturados e fornecimento de serviços, o que resulta numa crescente demanda por recursos naturais.

A produção de energia elétrica é responsável pela geração de diferentes externalidades ambientais que afetam direta e indiretamente a população. Atualmente, é senso comum que a intensificação do efeito estufa e suas conseqüentes mudanças climáticas, como o aumento de aproximadamente $0,7^{\circ}$ C na temperatura média da superfície da terra, estão relacionadas ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera como o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e principalmente o dióxido de carbono (CO_2). Estes são os chamados Gases do Efeito Estufa (GEE) e a emissão destes decorrem de atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis nas atividades de transporte, processos industriais e na geração de energia elétrica (BRASIL, 2009).

O processo de conscientização de que as mudanças climáticas representam uma ameaça potencial irreversível, mostra a necessidade de articulação entre os países numa resposta internacional eficaz visando acelerar a redução das emissões globais de gases de efeito estufa (BRASIL, 2012).

Este amadurecimento ambiental iniciou-se na década de 1970 e teve como consequência o questionamento dos processos produtivos e práticas de exploração ambiental, o que viabilizou consensos quanto à necessidade de regulamentação da relação do homem com o meio ambiente, iniciando assim uma tendência pelo desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2012).

Neste contexto, a 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, em Paris, foi adotado um acordo com o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima. Nesta conferência, ocorrida em 2015, o Brasil firmou o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa para 1,3 GtCO₂e em 2025 e 1,2 GtCO₂e em 2030, correspondendo, respectivamente, a reduções de 37% e 43%, com base no nível de emissões em 2005 de 2,1 GtCO₂e (BRASIL, 2015).

O Brasil busca alcançar uma maior participação das energias renováveis na composição de sua matriz elétrica em 2030, através da expansão do uso de fontes renováveis.

Neste contexto, o incremento da energia eólica na matriz elétrica brasileira tem papel de destaque, tendo em vista o acentuado potencial brasileiro para implantação de parques eólicos e ao baixo impacto ambiental que esta fonte gera o que pode contribuir significativamente para atingir essas metas de redução no setor da energia elétrica (DUARTE, 2004).

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é demonstrar o quão importante é a participação da Energia Eólica na matriz elétrica brasileira, para redução das emissões de CO₂.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar o crescimento da energia Eólica na matriz elétrica brasileira.
- Apontar possíveis causas do crescimento das emissões de CO₂.
- Apresentar a evolução da potência instalada de energia Eólica no Brasil.
- Apresentar a quantidade de emissões de CO₂ evitadas pela energia Eólica nos últimos anos.

2 CARACTERÍSTICAS DO CO₂ E SEUS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE

O carbono é o quarto elemento mais abundante no Universo, depois do Hidrogênio, Hélio e o Oxigênio, e é o pilar da vida como a conhecemos. Existem basicamente duas formas de carbono, uma orgânica, presente nos organismos vivos e mortos, não decompostos, e outra inorgânica, presente nas rochas (LUIZ, 2016).

O carbono em excesso no ar em forma de CO₂ contribui substancialmente para o aquecimento global (Efeito Estufa). Graças ao Ciclo o planeta se mantém estável, embora tende a aumentar a temperatura (LUIZ, 2016).

Segundo Dias (2020), o dióxido de carbono é uma substância composta, cuja fórmula é CO₂. Pertence ao grupo dos óxidos e suas moléculas são formadas a partir de ligações covalentes entre um carbono e dois átomos de oxigênio. Dentre várias características pode-se mencionar:

- Na temperatura ambiente, apresenta-se no estado gasoso;
- Inodoro (não apresenta odor) e incolor (não apresenta cor);
- Possui ponto de fusão igual a -56,6 °C;
- Possui ponto de ebulição igual a -78,5 °C;
- Possui geometria linear (molécula apresenta um ângulo de 180°);
- Suas moléculas são apolares (não apresentam polo positivo e negativo);
- Sua massa molar é 44 g/mol;
- Suas moléculas interagem entre si por dipolo induzido (força intermolecular que ocorre entre moléculas apolares).

O ciclo global do carbono caracteriza a movimentação do carbono entre as esferas da terra, atuando como regulador chave do sistema climático da terra e pilar fundamental para o funcionamento dos ecossistemas (DIAS, 2020).

Na atmosfera o carbono está presente na forma de dióxido de carbono (CO₂). É importante observar que por um lado as concentrações atmosféricas deste gás evitam que o planeta esteja completamente congelado, por outro lado constata-se que o aumento excessivo de CO₂ é o principal contribuinte das mudanças climáticas (DIAS, 2020).

A assimilação do carbono pelos seres vivos e sua devolução à atmosfera, completando, assim, o seu ciclo, estão intimamente ligadas ao fluxo de energia. No balanço global de carbono na atmosfera de nosso planeta, das cerca de 8 bilhões de toneladas de carbono emitidas anualmente na forma de dióxido de carbono (CO₂) pela queima de combustíveis fósseis e mudanças dos usos da terra, somente 3,2 bilhões permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa (aumento do aquecimento da superfície e da troposfera

devido à absorção de radiação infravermelha termal por vários gases minoritários da atmosfera, principalmente o dióxido de carbono). O restante é reabsorvido pelos oceanos e pela biota terrestre (SHENBERG, 2002).

Desde longos anos as emissões de CO₂ vem chamando atenção do homem, e estes por sua vez têm tentando encontrar uma maneira de amenizar esses problemas que muitas vezes tem sido prejudicial para caminhar para um futuro sustentável.

Diante desse cenário pode-se constatar que mundo corre sério perigo, o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera contribuiu para o fato do ano de 2016 ser o mais quente já registrado e aponta para novos recordes futuros de aquecimento. O efeito estufa trará custos enormes e as sociedades podem não estar preparadas para pagar o alto preço de limpar no futuro a sujeira feita no passado e no presente (JOSÉ, 2018).

Os impactos provocados no meio ambiente pelo atual modelo econômico, nas múltiplas feições que comporta a era do capital, há décadas transcendem as fronteiras e limites territoriais, afetando indivíduos e coletividades em inúmeras partes do globo. (RIBEIRO, 2001)

Os problemas ambientais ocasionados pelas chuvas ácidas, e emissões crescente e constante de gases na atmosfera, mudanças climáticas, contaminação das águas e solos e a desertificação de áreas extensas tornam imperativo o estabelecimento de normas, mecanismos e ações internacionais reguladoras para conter a degradação do meio ambiente e das condições de vida e existência no planeta. A constituição de um sistema de gestão planetária dos recursos naturais essenciais para a sobrevivência humana, agora e no futuro, torna-se uma possibilidade e uma alternativa (RIBEIRO, 2001).

Os impactos ambientais provocados estão geralmente associados à utilização do combustível e da matéria-prima usada no seu preparo, à emissão de poluentes e à produção de resíduos. A utilização de combustíveis fósseis gera emissões ao longo de seu ciclo de vida, as quais são responsáveis por uma das mais relevantes categorias de impacto ambiental: o aquecimento global devido ao efeito estufa. Esta categoria de impacto está relacionada à emissão de gases de efeito estufa (GEE), tendo como principais gases causadores o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (EPE, 2005).

A comunidade científica internacional vem demonstrando que há uma correlação positiva entre o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) e o aumento médio da temperatura do planeta, fato apontado como responsável pelo aumento das adversidades e alterações climáticas na superfície terrestre, como secas, inundações e degelo das calotas polares. A queima de combustíveis líquidos fósseis em motores de combustão interna libera GEE para a atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (EPE, 2005).

Depois que se detectou a problemática foram surgindo várias conferências e acordos para que se pudesse debater, combater e estabelecer metas para erradicação e diminuição dos gases de efeito estufa provocados pelas emissões de carbono na atmosfera.

Conforme Ferreira (2019), na busca pelo desenvolvimento sustentável pode-se perceber que grandes são as preocupações que envolvem a degradação do meio ambiente e, para que os programas sejam efetivados com sucesso, é necessário que o poder público, privado e população atuem unidos em prol de um país sustentavelmente digno.

No entanto, como muitas questões ambientais são de natureza global ou regional, os países não conseguem alcançar os resultados desejados isoladamente, sendo necessário acordos ambientais internacionais que permitam um trabalho conjunto (FERREIRA, 2019).

3 CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL: CONFERÊNCIAS INTERNACIONAIS

Após as Revoluções Industriais e Segunda Guerra Mundial, diversos pesquisadores realizaram estudos ambientais e comprovaram os impactos negativos da intervenção humana no planeta. Com a necessidade de frear os danos ambientais, lideranças de vários países começaram a se organizar para elaborar projetos que permitissem o desenvolvimento econômico sem a destruição do meio ambiente.

A partir daí foram surgindo as conferências ambientais que resultam de protocolos e acordos internacionais, como podemos constatar nomeadamente.

3.1 Conferência de Estocolmo

A primeira conferência ambiental do mundo foi organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), de 5 a 16 de junho de 1972 na Suécia. Contou com a presença de 113 países. Foi um marco histórico por se tratar do primeiro grande encontro internacional com representantes de diversas nações para discutir os problemas ambientais. Discutiu-se sobre a redução do uso de materiais tóxicos, a preservação do meio ambiente e o financiamento para promover essas ações em benefício do meio ambiente (MURSA, 2020).

Na ocasião, também foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), principal autoridade global em meio ambiente. Um plano de ação criado no evento convocou todos os países e organizações internacionais a buscarem soluções para uma série de problemas ambientais (MURSA, 2020).

Questões ambientais sempre causaram problemas muito relevantes, razão pela qual a conferência de Estocolmo foi um bem necessário que surgiu com intuito de chamar atenção da comunidade internacional, ela foi a primeira de muitas outras conferências relacionadas ao homem e o meio ambiente.

A Conferência de Estocolmo teve como frutos, o reconhecimento do problema ambiental e a necessidade de agir; foi criada a Declaração de Estocolmo (Declaração das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente), com o objetivo de descrever as responsabilidades e nortear as políticas futuras relativas ao meio ambiente apoiadas no Plano de Ação para o Meio Ambiente composto por 109 recomendações, além de ser considerada um marco jurídico mundial (Gonzaga 2012).

3.2 Protocolo de Montreal

Em 1985, um conjunto de nações reuniu-se na Áustria manifestando preocupação técnica e política quanto aos possíveis impactos causados pelo fenômeno da redução da camada de ozônio. Nesta ocasião foi formalizada a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, cujo texto enunciava uma série de princípios relacionados à disposição da comunidade internacional em promover mecanismos de proteção ao ozônio estratosférico, prescrevendo obrigações genéricas que instavam os governos a adotarem medidas jurídico-administrativas com tal intuito (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2017).

Segundo Henriques (2009), o Protocolo de Montreal, foi criado em 1987, é um, tratados internacional de grande porte. O primeiro, com 191 signatários, que diz respeito à defesa do meio ambiente, evitando que atividades humanas (antrópicas) inviabilizem a vida sobre na terra, poluindo-a e degradando-a. Mais recentemente, o Protocolo normalmente trata de gases que provocam aquecimento global.

Foi um protocolo criado exclusivamente para substâncias que destroem a camada de Ozônio, é considerado um dos mais bem sucedidos, pois contou a adesão de muitos países. Os países signatários comprometeram-se a diminuir a emissão de substâncias nocivas à camada de ozônio, como o gás carbônico (CO₂). No dia 16 de setembro, dia em que o protocolo entrou em vigor, foi declarado como o Dia Internacional para a Preservação da Camada de Ozônio (MURSA, 2020).

3.3 Conferência RIO – 92

Em 1992, o maior cartão-postal brasileiro, o Rio de Janeiro, sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), que ficou conhecida como Eco-92 ou Rio-92. Foi a largada para que a conscientização ambiental e ecológica entrasse definitivamente na agenda dos cinco continentes (PEDRO, 2009).

Esta conferencia aconteceu 20 anos depois da primeira conferência do tipo em Estocolmo, Suécia, os países reconheceram o conceito de desenvolvimento sustentável e começaram a moldar ações com o objetivo de proteger o meio ambiente. Desde então, estão sendo discutidas propostas para que o progresso se dê em harmonia com a natureza, garantindo

a qualidade de vida tanto para a geração atual quanto para as futuras no planeta (SENADO, 2012).

3.4 Protocolo de Kyoto

Acordo ambiental fechado durante a 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada em Kyoto, Japão, em 1997. Foi o primeiro tratado internacional para controle da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Entre as metas, o protocolo estabelecia a redução de 5,2%, em relação a 1990, na emissão de poluentes, principalmente por parte dos países industrializados. Uma delas determinava a redução de 5,2%, em relação a 1990, da emissão de gases do efeito estufa, no período compreendido entre 2008 a 2012. O protocolo também estimulava a criação de formas de desenvolvimento sustentável para preservar o meio ambiente (SENADO, 2012).

Um dos líderes principais, os EUA, responsáveis por uma grande parte das emissões históricas de CO₂ porém, nunca ratificaram o Protocolo de Kyoto e o abandonaram definitivamente em 2001. Em 2011 conseqüentemente foi a vez de o Canadá deixar o acordo, e muitos analistas pensaram que o Protocolo de Kyoto fracassaria (SCHAUENBERG, 2020).

As metas de redução de gases não são, entretanto, homogêneas entre os países que assinaram o acordo. Trinta e oito países têm níveis diferenciados nas metas de redução dos gases poluentes. Países que compõem a União Europeia, por exemplo, estabeleceram meta de 8% na redução dos gases do efeito estufa, enquanto o Japão fixou esse percentual em 6%. Quando os Estados Unidos aderiram ao acordo, comprometeram-se com a redução de 7% dos gases poluentes (SENADO, 2004).

Com o Protocolo de Kyoto, cresceu a possibilidade de o carbono tornar-se moeda de troca, a partir do momento em que países assinantes do acordo podem comprar e vender créditos de carbono. Obtidos em negociações internacionais, os créditos de carbono são adquiridos por países com emissão reduzida de CO₂, que fecham negócios com países poluidores. Para cada tonelada de carbono reduzida, o país recebe um crédito. A quantidade de créditos de carbono recebida varia, portanto, de acordo com o volume da redução de CO₂. Os países que mais negociam esses créditos são os da União Europeia e o Japão (SENADO, 2012).

Dentro das negociações do Protocolo, mostrou-se que o Brasil se destacou chegando a um acordo que possibilitou a implantação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que é o mais interessante, pois possibilita que países em desenvolvimento participem como países receptores de projetos para redução das emissões de gases de efeito estufa, adquirindo novas tecnologias e gerando divisas com o comércio de carbono, além de estes projetos terem a obrigação de contribuir para o desenvolvimento sustentável (GIOMETTI, 2007).

3.5 Acordo de Paris

Em dezembro de 2015 no dia 12, cerca de 195 países e a UE se comprometeram, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), em Paris, a deter o aumento da temperatura do planeta abaixo dos 2°C, quando comparado à temperatura média pré-industrial, e a ajudar economicamente os países mais vulneráveis ao aquecimento global (VIEIRA, 2017).

Para a entrada em vigor do acordo, que irá substituir a partir de 2020, o atual Protocolo de Kyoto, 55 países que representam 55% das emissões de gases de efeito estufa precisavam ratificá-lo. Isso aconteceu em 4 de novembro de 2016. Até junho de 2017, 195 países assinaram o acordo, e 147 destes, entre eles o Brasil, o ratificaram. Os oceanos e a atmosfera esquentam ano após ano por causa das massivas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Os maiores vilões são a queima dos combustíveis fósseis e o desmatamento das florestas, que são as responsáveis por renovar o oxigênio (CEBDS, 2019).

Segundo CEBDS (2019), o acordo de Paris tem como principal objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C, quando comparado a níveis pré-industriais. Mas há várias metas e orientações que também são elencadas no acordo, tais como:

- Esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C;
- Recomendações quanto à adaptação dos países signatários às mudanças climáticas, em especial para os países menos desenvolvidos, de modo a reduzir a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos;
- Estimular o suporte financeiro e tecnológico por parte dos países desenvolvidos para ampliar as ações que levam ao cumprimento das metas para 2020 dos países menos desenvolvidos;

- Promover o desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia e capacitação para adaptação às mudanças climáticas;
- Proporcionar a cooperação entre a sociedade civil, o setor privado, instituições financeiras, cidades, comunidades e povos indígenas para ampliar e fortalecer ações de mitigação do aquecimento global

4 EMISSÕES DE CO₂ E ATIVIDADES HUMANAS

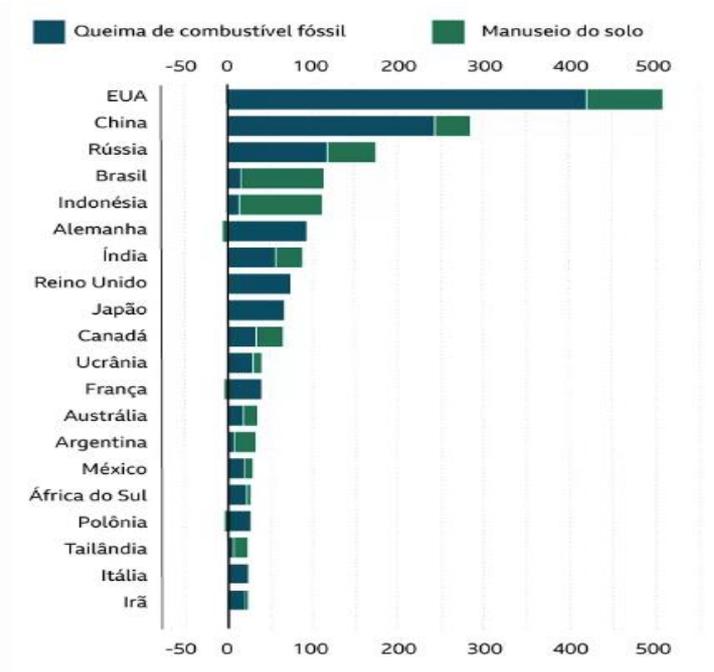
Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. É provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual (IPCC, 2019).

A principal fonte de CO₂ é a queima de combustíveis fósseis, tanto é que, cerca de 86% das emissões de dióxido de carbono do mundo vêm da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia e materiais. As primeiras eras da industrialização foram dominadas pela queima de carvão vegetal. Só no final do século XIX começam a aumentar as emissões por petróleo e gás natural. E, no final do século 20, as emissões pela produção de cimento e pela chama um dispositivo de combustão de gases inflamáveis usado na indústria, se tornam mais significativas (BBC Brasil, 2021).

Segundo a Udop (2021), uma nova pesquisa sobre acumulado histórico de emissões de gás carbônico põe o Brasil entre os maiores poluidores do mundo. No estudo, que leva em consideração pela primeira vez o desmatamento ao contabilizar a liberação de CO₂, o Brasil aparece em quarto lugar no ranking de emissões desde 1850. A China, gigante emergente que só pretende começar a reduzir suas emissões a partir de 2030, é apontada como o segundo maior emissor de gases do efeito estufa no acumulado histórico, atrás dos Estados Unidos.

Na pagina a seguir vamos observar o gráfico dos países com maior acumulo, são cerca de 20 países incluído neste histórico destacando os Estados Unidos da América (EUA) com maior acumulo, o Brasil vem em quarto lugar e o Irã ocupa a ultima posição.

Figura 1: Gráfico dos países com maior acúmulo de emissões de 1850 a 2021.

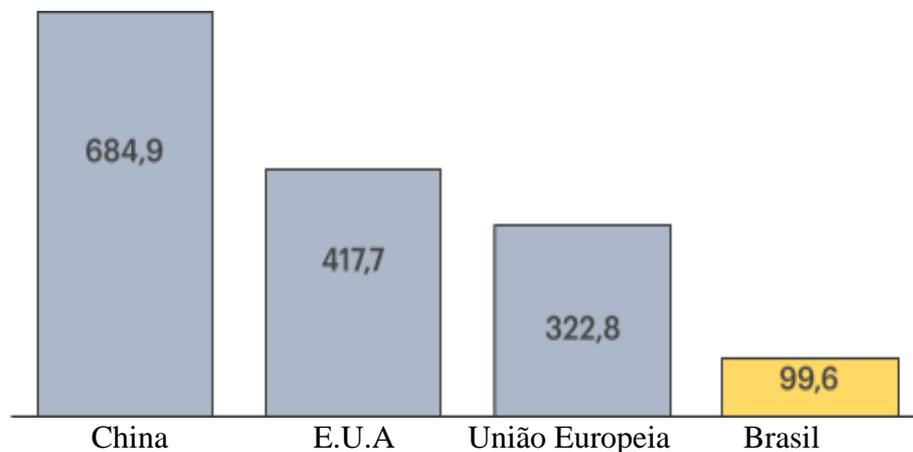


Fonte: Adaptado BBC Brasil (2021).

4.1 Emissões de CO₂ na geração de energia elétrica

O gráfico da figura 2, mostra as emissões de CO₂ provocadas pela geração de energia elétrica na União Europeia e diversos países assim como, a China, EUA e o Brasil, de acordo com a figura a China foi o maior vilão gerou cerca de 684,9 CO₂ (kg) Mwh, a seguir vem os EUA, posteriormente a União Europeia e por fim o Brasil, gerando cerca de 99,6 CO₂ (kg) Mwh.

Figura 2: Gráfico de Emissões de CO₂ (kg) MWh (2018).

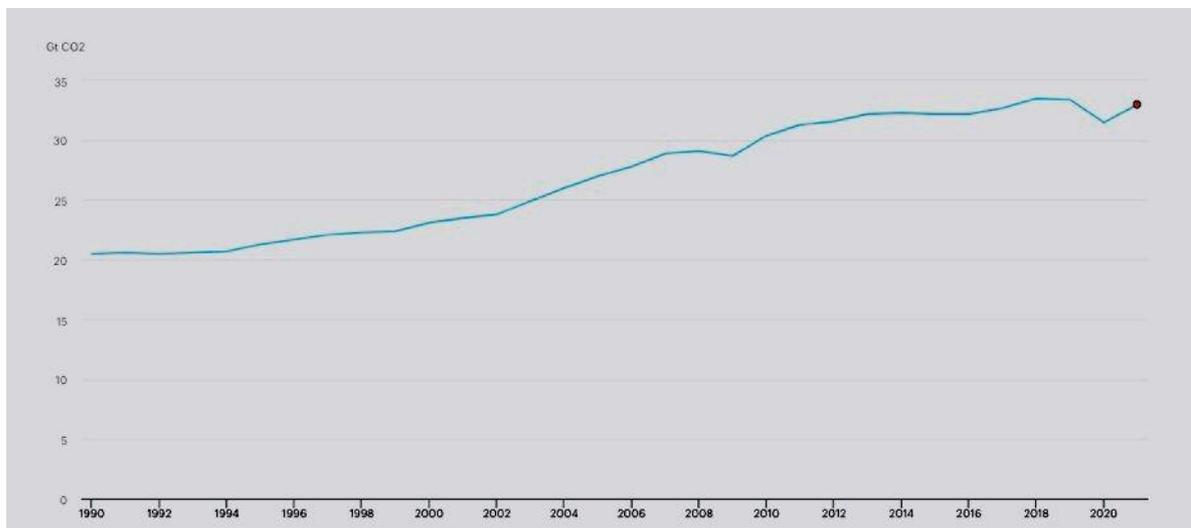


Fonte: Adaptado EPE (2020).

Em 2021, as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia devem se recuperar e crescer 4,8%, à medida que a demanda por carvão, petróleo e gás se recupera na economia. O aumento de mais de 1.500 Mt CO₂ seria o maior aumento único desde a recuperação econômica intensiva em carbono da crise financeira global há mais de uma década, deixando as emissões globais em 2021 em torno de 400 Mt CO₂, ou 1,2%, abaixo do 2019 pico. (BEN 2020).

Na figura 3 ilustra o crescimento emissões globais de CO₂ relacionadas à energia, 1990-2021. Desde 1990 que as emissões relacionadas com a energia vêm aumentando ao longo dos anos.

Figura 3: Emissões globais de CO₂ relacionadas à energia, 1990-2021.

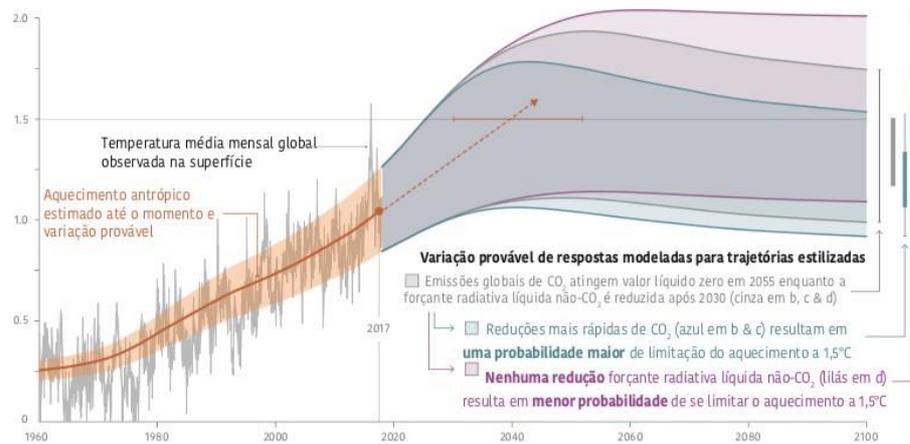


Fonte: IEA 2021

Limitar o aquecimento global em qualquer nível requer no mínimo que as emissões líquidas de CO₂ sejam zeradas e que outros gases de efeito estufa, como o metano, sejam substancialmente reduzidos. Cada trilhão de toneladas de CO₂ emitidas cumulativamente na atmosfera causa um aquecimento global de 0,27 °C a 0,63 °C, o que é conhecido como resposta climática transitória às emissões. Isso significa que para qualquer estabilização as emissões líquidas precisam cair a zero. (Observatório do Clima, 2021).

Emissões cumulativas de CO₂ e futura forçante radiativa não-CO₂ determinam a probabilidade de limitar o aquecimento a 1,5 °C. Como podemos constatar na pagina a seguir a partir da figura 4.

Figura 4: Mudança observada na temperatura global e respostas modeladas para emissão antrópica estilizada e trajetórias de forçante (Aquecimento global referente a 1850-1900 (°C)).



Fonte: IPCC 2021.

4.2 Emissões de CO₂ no Brasil

A partir da segunda metade do século XX o setor elétrico brasileiro se caracterizou por uma forte concentração de geração hidrelétrica, a partir de grandes reservatórios, com participação acima de 90% do total da geração no final do século (MME, 2006).

O Brasil está entre os países que aumentaram de forma considerável, o tráfego de veículos nos grandes centros urbanos, assim elevando também os impactos ambientais durante as últimas décadas. O dióxido de carbono (CO₂) é um dos compostos lançados na atmosfera pelo homem, através de produções, manuseio e descartes incorretos de queima de derivados do petróleo e por indústrias produtoras de cimento (Mábia, Laís, pág. 4, 2016).

Na COP 26, a próxima conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, o Brasil pretende enfatizar o argumento que países desenvolvidos poluíram muito mais ao longo da história para enriquecer e devem, portanto, compensar nações em desenvolvimento pela proteção de suas florestas. Mas uma nova pesquisa sobre acumulado histórico de emissões de gás carbônico põe o Brasil entre os maiores poluidores do mundo. No estudo, que leva em consideração pela primeira vez o desmatamento ao contabilizar a liberação de CO₂, o Brasil aparece em quarto lugar no ranking de emissões desde 1850 (UDOP, 2021).

4.3 Emissões de CO₂ por fonte e sector

Segundo Inventário Brasileiro (2009), neste setor são apresentadas todas as emissões antrópicas por intermédio à produção, à transformação e ao consumo de energia. Incluindo as emissões resultantes da queima de combustíveis quanto as emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo de energia

Durante os últimos cinco anos, o Brasil emitiu 2.139,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono (tCO₂). O ano de 2015 obteve o maior registro, com 463,1 milhões de tCO₂ e a quantidade emitida foi diminuindo a cada ano (REIS, 2021).

Em 2019, por exemplo, foi emitido um total de 406,1 milhões de tCO₂ e a razão entre o total de emissões e a oferta interna de energia (406,1tCO₂/294,036tep) ficou em 1,38. Bem abaixo do resultado Mundial e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), somando 2,32 e 2,19 respectivamente. O óleo possui a maior representatividade das emissões, tendo atingido em todos os anos mais de 60% de contribuição. No comparativo com os setores, transporte e indústria contabilizaram a cada ano mais de 70% do total emitido de tCO₂. (REIS, 2021).

Ainda que o Brasil se caracterize pelo reduzido nível relativo de emissões de carbono, principal gás responsável pelo efeito estufa, este aspecto não deveria ser argumento para justificar a ausência de políticas públicas que promovam o crescimento sustentável de baixo carbono a médio e longo prazos. Importa analisar as opções de políticas públicas que possam gerar desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que contribuam para a redução de gases efeito estufa (GEE) (BRU, 2009).

Conforme o BEN (2021), em 2020 o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira 398,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, sendo a maior parte gerada no setor de transporte.

Em termos de emissões por habitantes cada brasileiro produzindo e consumindo energia em 2020, emitiu em média 1,9 t de CO₂eq ou seja cerca de 1/7 de um americano e 1/3 de um cidadão europeu (União Europeia), ou um chinês de acordo com os últimos dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA em inglês) para o ano de 2018. A intensidade de carbono na economia foi de 0,13 kg CO₂/US\$ppp [2010].

Ainda com base nos dados da IEA de 2018, a intensidade de carbono na economia brasileira equivale a 33% da economia chinesa, 50% da economia americana e 85% da economia da União Europeia. Ainda de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2020), o Brasil gerou em 2020 cerca de 78,8 kg CO₂-eq/MWh.

4 ENERGIAS RENOVÁVEIS E AS EMISSÕES DE CO₂

O Fato é que as energias sempre serão um bem necessário para o desenvolvimento das sociedades de modo geral. Em 1750 teve início a revolução industrial em território inglês, sua principal fonte de energia era o carvão. Nesse período os setores industriais se desenvolveram muito, principalmente o têxtil e o siderúrgico. A partir daí o uso de energia se tornou cada dia mais indispensável para o mundo moderno (BERNOULLI, 2013).

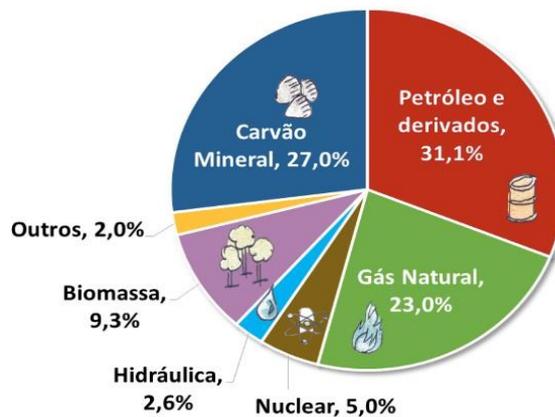
Alguns acreditam que é impossível haver crescimento demográfico e econômico sem agredir a natureza. Porém, é essencial para o futuro e qualidade de vida de todos que haja um desenvolvimento sustentável desde já, aliando desenvolvimento social, econômico e ambiental (CEBDS, 2019).

5.1 Matriz energética mundial e brasileira.

A matriz energética mundial é composta por diferentes fontes de energias entre elas maioritariamente são energias não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural. Ao passo que as fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, juntas correspondem apenas 2% da matriz energética mundial, como podemos observar no gráfico em “outros”. Então somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam aproximadamente 14% da matriz energética mundial.

De acordo com o gráfico abaixo podemos observar o quão predomina as fontes de energias não renováveis na matriz energética mundial. Isto mostra que a participação das fontes renováveis na matriz energética mundial ainda é muito reduzida comparado as fontes não renováveis, a matriz energética mundial ela precisa ser equilibrada para evitarmos as emissões de GEE.

Figura 5: Matriz Energética Mundial (2019).



Fonte: Adaptado IEA (2021)

As fontes energéticas de origem fóssil como petróleo, carvão e gás natural, atualmente predominam na matriz energética global e são grandes emissores de GEE. Portanto, a transição energética mundial surge pelo aumento da participação das renováveis, redução do uso do carvão e utilização do gás natural como combustível de transição por se tratar de um combustível fóssil menos poluente e importante para a segurança energética. O carvão ainda tem uma participação expressiva para um momento de transição como o atual. (BP Statistical Review 2020).

5.2 Matriz energética brasileira

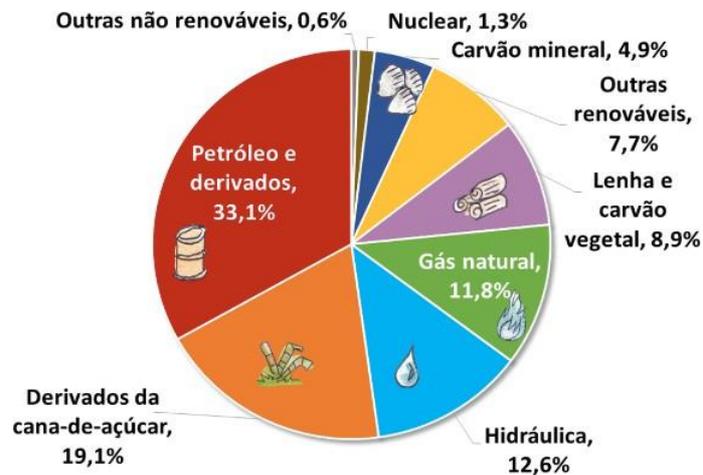
Pelo menos até os anos de 1940 grande parte da energia produzida no país tinha como fonte a lenha e o carvão vegetal, sendo insignificante a presença de outras fontes de energia. Na tentativa de modernizar a sociedade e a economia e alterar seu histórico rural, o processo de industrialização teve como uma de suas mais importantes bases o setor automobilístico (CARMONA; KASSAI, 2019).

Segundo Carmona e Kassai (2019), dez anos depois surgiu a necessidade do governo investir seriamente em grandes somas na construção de uma malha rodoviária de modo a estimular o uso do automóvel no país. Para suprir a crescente demanda por petróleo, foram feitos grandes investimentos na pesquisa e prospecção do combustível fóssil por meio da Petrobras. Na década de 1970, o petróleo atinge seu auge, consolidando-se como principal insumo energético: àquela época, aproximadamente 45% dos insumos energéticos do país eram derivados do petróleo.

Logo após o choque mundial do petróleo ainda na década de 1970, estimulou a produção e o consumo de etanol por meio do programa Proálcool. Com isso, “o período 1940-1972 marcou a transição da economia nacional de um perfil de consumo energético de baixa emissão de carbono, na qual as fontes não renováveis representavam pouco mais de 12%, para uma fase na qual a crescente expansão da oferta de petróleo e seus derivados praticamente igualou a participação de fontes não renováveis com a das fontes renováveis (ANDRADE, 2010).

A figura 6 faz uma ilustração da repartição de fontes de energias renováveis e não renováveis da matriz elétrica brasileira, sendo assim olhando agora para o cenário atual podemos observar abaixo.

Figura 6: Matriz Energética Brasileira (2020).



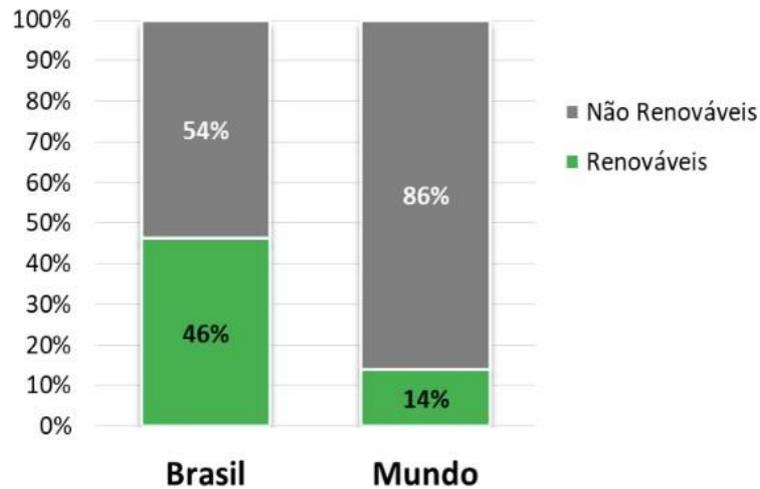
Fonte: BEN, 2020)

Ao contrário da tendência mundial de uso de fontes não renováveis de energia, a matriz energética no Brasil é uma das mais renováveis do mundo industrializado. Cerca de 46% da produção de energia no país provém de fontes renováveis, como hidráulica, biomassa (usada na produção de biocombustíveis), etanol (empregado na produção da cana-de-açúcar), além das energias eólica e solar. O uso dessas fontes renováveis de energia tem sido uma alternativa ao uso do petróleo na matriz energética.

Por conta participação das energias renováveis hoje a matriz energética brasileira é considerada uma matriz com de baixo carbono, meta que muitos países pretendem estar em décadas. Contudo, o país ainda tem um caminho longo a percorrer para atingir padrões socioeconômicos comparáveis aos de países desenvolvidos. Por esse motivo, espera-se crescimento no consumo de energia per capita e nas suas emissões, mesmo contando com ampla participação de fontes renováveis. O que não minimiza esforços para redução das emissões de GEE não somente no setor elétrico, mas também em setores com contribuições significativas, como transporte e industrial, buscando a melhor relação custo-benefício (EPE, 2020).

Com base nos dados mais recente do gráfico na pagina seguinte podemos concluir que a matriz energética brasileira é mais renovável que a matriz energética mundial. Segundo EPE (2020), fez-se um estudo comparativo sobre o consumo de energias provenientes de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo no ano de 2019, como mostrado na figura 7.

Figura 7: Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo para o ano de 2019



Fonte: EPE (2020)

O ano de 2021, que teve a geração hidrelétrica prejudicada pela maior escassez hídrica em 91 anos, também será lembrado pela maior ampliação da geração eólica registrada no país. As usinas movidas pela força dos ventos responderam por 3.694,32 MW de potência instalada, marca que ultrapassou em larga medida os 2.786 MW liberados pela Agência em 2014, até então o recorde de entrada em operação dessa fonte no Brasil. As usinas eólicas constituem neste momento 20,8 Giga watts (GW) de potência instalada, respondendo por 11,46% da matriz energética brasileira. (ANEEL, 2021).

5.3 Matriz elétrica brasileira

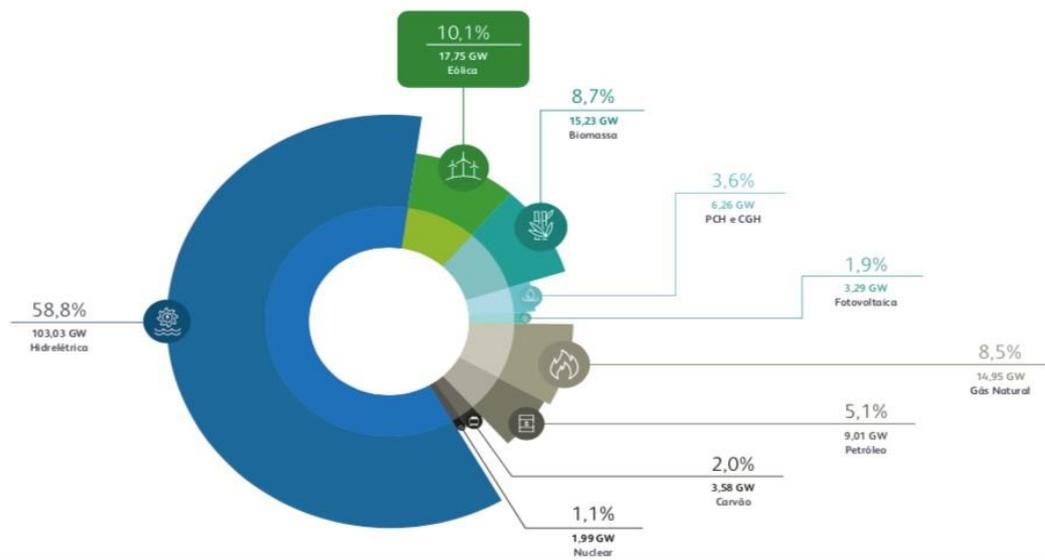
O Brasil é um grande exemplo no que diz respeito a diversificação da matriz elétrica, isto se deve ao crescimento de fontes de energias renováveis que tem contribuído bastante ao longo dos últimos anos, a energia eólica tem sido um dos principais responsáveis por esse crescimento.

A matriz elétrica brasileira é uma das mais renováveis do mundo com uma proporção de 48%, indicador mais de três vezes superior ao mundial”, ressaltou o diretor do Departamento de Informações e Estudos Energéticos do Ministério de Minas e Energia (MME, 2021).

De acordo com dados do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), a energia eólica hoje representa 10,9% da matriz elétrica brasileira e a expectativa é que chegue a 13,6% ao fim de 2025. Os maiores parques estão na região Nordeste. Em julho, foram quatro recordes de

geração eólica média e quatro de geração instantânea (pico). Segundo o ministério, em um único dia, a média inédita chegou a 11.399 MW, suficiente para abastecer a 102% da região Nordeste durante 24 horas (CNN BRASIL, 2021). A matriz energética brasileira é muito versátil em termos de fontes de energias, essa matriz é composta majoritariamente de fontes renováveis como mostra a figura 8.

Figura 8: Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: ABEEOLICA (2020).

Atualmente quando se trata de crescimento de energias renováveis no Brasil os holofotes sempre destacam a energia eólica e solar, principalmente a eólica que tem crescido significativamente anos pões anos e graças a ela o Brasil se encontra em boa posição entre os países que veem cumprindo com o Acordo de Paris:

i) aumentar o consumo de biocombustíveis sustentáveis na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel;

ii) no setor da energia, alcançar participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030, incluindo: - expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030;

- expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar;

- alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030. (Bruna, Kassai, 2019).

A energia eólica na matriz elétrica brasileira apenas perde diante da hidrelétrica que ocupa cerca de 58,8%, desta matriz pelo menos percebe-se que a participação de fontes renováveis como eólica, solar e hidrelétrica é notória, o que torna a matriz elétrica brasileira mais renováveis com relação a de outros países.

Um marco histórico das fontes renováveis no Brasil, foi a Resolução Normativa da ANEEL número 482/2012 (ANEEL, 2012), onde ficou instituído o sistema por compensação de energia da geração de fontes renováveis. Essa resolução possibilita ao consumidor, pessoa física ou jurídica, gerar a sua própria energia a partir de fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Esse sistema de compensação também é conhecido como *net metering* e foi inspirado em modelo internacional, como, por exemplo, dos EUA. (ENGEVISTA, 2019).

5.4 Energia eólica

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 2000 anos antes de cristo (DUTRA, 2008).

Posteriormente, a energia eólica foi amplamente utilizada em moinhos, substituindo a tração animal. Contudo, foi apenas nos últimos anos que a energia eólica se tornou uma peça fundamental na geração de energia, principalmente elétrica. Período em que houve uma grande expansão na pesquisa e no desenvolvimento para transformar a energia fornecida pelo vento (MIGUEL, 2016).

Para MEYER et al. (2013), denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade.

5.4.1 Impactos ambientais e emissões de CO₂

Nos dias atuais, o principal uso da energia eólica se dá na geração de energia elétrica por meio de aerogeradores. Entretanto, o impacto ambiental que a energia eólica gera, é muito mais inferior quando comparado à energia proveniente do combustível fóssil petróleo, ou gás natural, a qual provoca um grande impacto ambiental produzindo emissões gasosas que, além de poluentes, destroem ecossistemas. Já a energia eólica, por sua vez, pode servir eternamente aos propósitos energéticos com quase nenhum impacto ambiental (DUARTE, 2004).

Por se tratar de uma fonte limpa essa energia, não emite dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e apresenta um balanço energético extremamente favorável. Na fase de fabricação e instalação dos equipamentos, há baixíssima emissão de CO₂ que, após o período de três a seis meses de funcionamento dos aerogeradores, esse gás deixa de ser produzido. Esse impacto varia muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas (TERCIOTE, 2002). A de implantação de qualquer projeto quer, fontes de energias renováveis ou não requer sempre um estudo de viabilidade do local, é importante salvaguardar é sempre estes aspectos devido os impactos ambientais.

Segundo Reis (2011), causa alguns impactos que não é muito comum em diversas fontes de energia e estes mesmos impactos são muito reduzido quanto comparados com as turbinas hidrelétricas e termelétricas, atualmente estes impactos além daqueles causados pelo uso de baterias, só são considerados mais seriamente em alguns países onde a questão ambiental está mais avançada, entre eles destacam – se, o ruído, interferência eletromagnética, colisão de pássaros, impacto visual e aceitação pública, limitação de uso do espaço ocupado. (ABEOLICA, 2020). A implantação de parques eólicas gera vários benefícios ate mesmo para as comunidades locais:

- Gera renda e melhoria de vida para proprietários de terra com arrendamento para colocação das torres;
- Permite que o proprietário da terra siga com plantações ou criação de animais;
- É renovável, não polui, contribui para que o Brasil cumpra seus objetivos no Acordo do Clima;
- Um dos melhores custo-benefício na tarifa de energia;

- Parques eólicos não emitem CO₂;
- Capacitação de mão de obra local;

5.4.2 Evolução da energia eólica no Brasil

Um fato bem evidente é que a energia eólica já a muitos anos que vem ganhando espaço no mercado brasileiro, normalmente ela é a mais destacada entre as diversas fontes de energias renováveis, percebe-se também que o Brasil possui um grande potencial em termos de ventos, razão pela qual tem se investido muito nessa fonte de energia.

Esse avanço está ligado a fatores como a redução dos custos da tecnologia e as condições naturais favoráveis para geração eólica que o país apresenta. Entre 2000 e 2019, as tecnologias de geração eólica *onshore* e *offshore* tiveram uma redução de custos de, respectivamente, 39% e 29%, de acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2020).

Atualmente a energia eólica ocupa o terceiro lugar na composição da Matriz Elétrica Brasileira. Isso significa 9% de participação, atrás somente da energia de biomassa e hidrelétrica. De acordo com a ABEEOLICA, quatro fatores criaram o ambiente propício para o desenvolvimento do formato (VALUUP, 2019).

De acordo com Gonsalves e Toledo (2020), a inserção das eólicas no Brasil veio a reboque da evolução tecnológica decorrente dos compromissos globais de buscar soluções energéticas ambientalmente mais sustentáveis. As políticas públicas para o aperfeiçoamento dessas tecnologias impulsionaram a competitividade de fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica

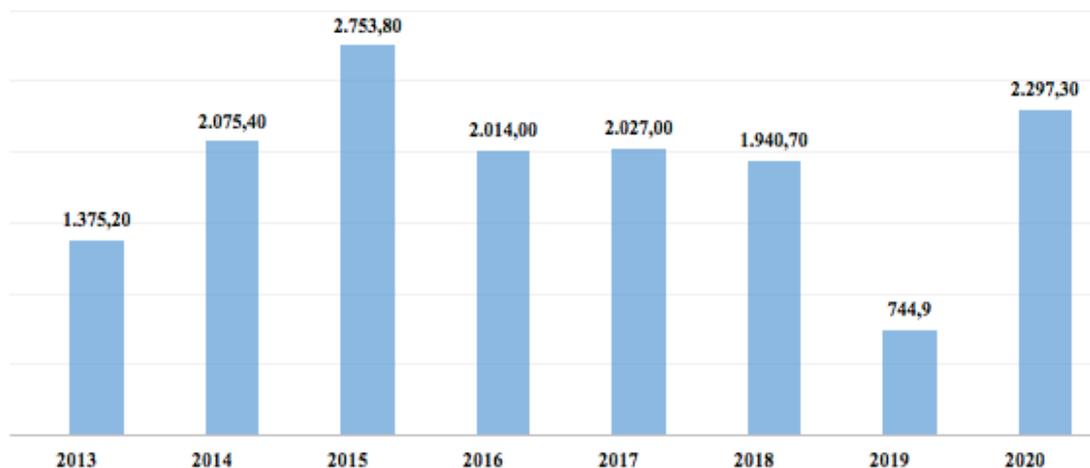
Analisando basicamente o contexto atual brasileiro nota-se que, a energia eólica atingiu o mais alto nível de capacidade instalada nos últimos anos, desde 2013 que o gráfico cresce de forma gigantesca se tornando uma das fontes com maior destaque e preferência entre os consumidores. Diferente de outras fontes ela não gera CO₂ o meio ambiente e seus impactos ambientais são bem reduzidos.

Dados mais recentes da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) mostram que o país já tem mais de 8,5 mil aerogeradores em 726 parques eólicos. A marca de 19 gigawatts (GW) de capacidade instalada já foi atingida. A eólica é a segunda fonte de geração

de energia elétrica no Brasil e, em dias de recorde, já chegou a atender até 17% do país durante todo o dia (ECOMENERGIA, 2021).

Como podemos ver no gráfico da figura 9 apresenta um histórico da capacidade instalada em MW, nos anos de 2013 a 2020, até então de acordo com gráfico a maior capacidade já atingida foi em 2015 chegou a 2,753 MW, e a menor capacidade já atingida foi de 744,9MW em 2019.

Figura 9: Evolução da capacidade instalada de Energia Eólica em (MW) de 2013 a 2020.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABEEÓLICA.

5.4.3 Contribuição da energia eólica para a redução de emissões de CO₂ na matriz elétrica brasileira

Como se poder verificar através dos gráficos da figura 10 e figura 11 a energia eólica vem demonstrando o seu valioso papel no que diz respeito à geração de energia de forma limpa, alcançando assim um dos principais objetivos desta tecnologia.

Com tudo pode se defender que quanto mais essa fonte de geração de energia cresce maior será a concentração de toneladas de CO₂ evitadas no Brasil anual e mensalmente.

Figura 10: Gráfico de Emissões de CO₂ em milhões de toneladas evitadas pela Energia Eólica no período de 2013 a 2020

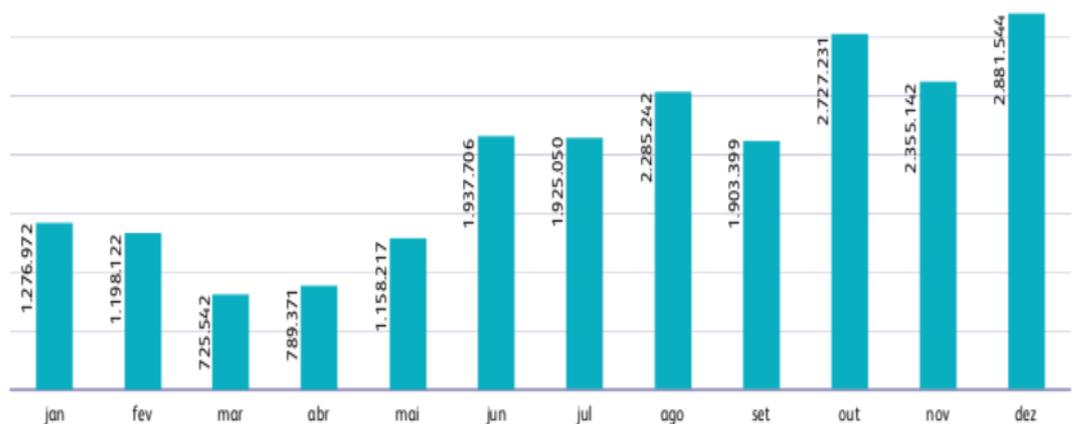


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABEEÓLICA.

No gráfico da figura 12, é possível observar a quantidade de toneladas de CO₂ evitados mensalmente nos períodos de janeiro a dezembro de 2020. Reforçando assim a ideia de que a energia eólica tem contribuído de forma significativa para mitigação das emissões de CO₂ no Brasil. Por é que em muitos casos ela é apontada como caminho principal para um futuro sustentável.

De acordo com ABEEOLICA (2020), no ano de 2020, foram evitados cerca de 21,1 milhões toneladas de CO₂, como pode-se observar na figura 11.

Figura 11: Toneladas de Emissões de CO₂ evitadas por mês em 2020



Fonte: ABEEOLICA 2020.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de energias renováveis na matriz elétrica Brasileira tornou-se crescente e promissor ao longo dos anos, quando o assunto é redução dos impactos estes sofrido pelo meio ambiente. Durante anos mostrou-se a preocupação do impacto que os gases de efeito estufa tem causado no mundo, o quão tem sido prejudicial a geração de fontes de energias renováveis e não renováveis. Líderes mundiais se reuniram inúmeras vezes para encontrar possíveis formas para redução das emissões de CO₂.

O Brasil sempre foi um membro ativo durante estas conferencias, portanto surge a ideia de se diversificar a sua matriz elétrica de modo que se produza energia limpa, no caso sem prejudicar o meio ambiente.

As fontes alternativas foram olhadas como a solução para redução deste problema, a energia nomeadamente eólica é apontada como a mais viável para amenizar essa situação, a energia eólica por sua vez ocupa o segundo lugar da matriz elétrica Brasileira, e a sua expansão significa contribuir para redução das emissões de CO₂, por se tratar de uma fonte limpa e renovável, possui baixo impacto ambiental e contribui para que o Brasil cumpra com os seus objetivos no Acordo do Clima.

Sendo assim, concluímos, de certa forma, que a participação da energia eólica para redução de CO₂ na matriz elétrica Brasileira tem surtido um efeito positivo, realmente ela tem cumprido o seu principal objetivo que é a mitigação de CO₂, durante a pesquisa feita observamos que foram evitadas milhões de toneladas de CO₂ mensalmente e durante os últimos anos através da participação que ela tem na matriz elétrica brasileira.

REFERÊNCIAS

ABEEOLICA. **Boletim de Geração Anual de 2013 a 2020**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>. Acesso em: 27 de Jan de 2022.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA RENOVÁVEIS (IRENA), 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em 20 de Jan de 2022.

ANEEL. **Geração, 2021**. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-termina-2021-com-maior-acrescimento-em-potencia-instalada-desde-2016/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa. Acesso em: 07 de Jan de 2022.

BBC Brasil. **CO₂. os gráficos que mostram que mais da metade das emissões ocorreram nos últimos 30 anos**. 8 de Nov de 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/português/geral-59013520>. Acesso 3 de Jan de 2022.

BRASIL (2009). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. ISAURA MARIA DE RESENDE LOPES FRONDIZI. (Org.). **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Guia de Orientação 2009. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2009. 132 p.

BRASIL (2012). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. FRANCISCO GAETANI. (Org.). **O Brasil na agenda internacional para o desenvolvimento sustentável**. Um olhar externo sobre os desafios e oportunidades nas negociações de clima, biodiversidade e substâncias químicas. Brasília: MMA, 2012. 190 p.

BRASIL (2015). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONVENÇÃO DA ONU SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**. Fundamentos para iNDC brasileira. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris/item/10710>. Acesso em: 27 out. 2016.

BRUNO, Roberto Gonzaga. Conferencia de Estocolmo: **Um marco na questão ambiental**, Revista Unicuritiba, Rebouças, PR v. 1, n. 70 2012 Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/admrevista/issue/view/45>. Acesso 07 de Dez 2021.

CAMPOS DE ANDRADE, A. L. **Energia e mudanças climáticas: uma discussão da matriz energética brasileira e do setor de transportes**. Florianópolis, UFSC- Programa de Pós-Graduação em Economia (Dissertação de Mestrado), 2010, 164 p. <https://congressosp.fipecafi.org/anais/19UspInternational/ArtigosDownload/1751.pdf>. Acesso em: 25 de Dez de 2021.

CARMONA, Bruna de Sousa; KASSAI; José Roberto. **A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7**. XIX Internacional Conference Accounting Universidade de São Paulo - SP, 24 a 26 de 2019. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/19UspInternational/ArtigosDownload/1751.pdf> Acesso em: 29 de Nov de 2019.

CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para Desenvolvimento Sustentável). **O que é o Acordo de Paris?** 05/12/2019. Disponível em: <https://cebds.org/author/cebds/>. Acesso em 23 de Dez de 2021.

DANTAS, Ozlean de Lima; APOLONIO, Roberto; JUNIOR, Alcides Arruda. **Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissões de CO₂. Estudo de uma micro usina fotovoltaica.** 2019, Engevista, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, V. 21, n.2, p.329-340, Maio 2019. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1i6bT0X_lsnYmfa9AJCFi7SoU1F25fS0b. Acesso em: 12 de Out de 2021.

DIAS, Diogo. **Dióxido de Carbono. Manual da Química.** 2020. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-ambiental/dioxido-carbono.htm>. Acesso em 14 de Set de 2021.

DUTRA, Ricardo. **Energia eólica princípios e tecnologias.** 2008. V. 7, p.1-58. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf. Acesso em: 18 de Jan de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Meio Ambiente 2020.** Rio de Janeiro 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/meio-ambiente/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa>. Acesso em 6 de Fev de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2021. Ano base 2020.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Estudos EPE: **Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis.** 2005. Brasília, DF. 16p. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202020%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202020%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL[1].pdf). Acesso 30 de Nov. de 2021.

FERREIRA, Andreia Regina de Sousa; CORDEIRO, Jénifer da Silva Santos; SILVA, Lucimar dos Santos. Contrato Sustentável. **O Projeto Ecocidadão do Município de Curitiba -PR.** 2019. 15 f Trabalho de Conclusão de Curso – Artigo Científico (Bacharelato em Administração Pública) – Campus Curitiba, PR, 2019. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/21471/Andr%E9a%20Ferreira,%20Jenifer%20Cordeiro,%20Lucimar%20dos%20Santos_AC.pdf;jsessionid=A01EA7F5E320AC072DBB5D4047D3342A?sequence=1. Acesso em 23 de Nov de 2021.

FERREIRA, Vitor Ricardo. **O Carbono.** Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/carbono.htm>. Acesso 12 de Set 2021.

GONÇALVES, Felipe; TOLEDO, Thiago Gomes. **Competitividade da Geração Eólica no Novo Modelo do Setor Elétrico.** 31 de Mar de 2020. Disponível em:

https://cenarioeolica.editorabrasilenergia.com.br/2020/03/31/competitividade-da-geracao-eolica-no-novo-modelo-do-setor-eletrico/?fbclid=IwAR1zkOShikMudGfXIQ5zx8z-1q_UvQMklwW3Wo-cW13LBC_jLun2W4wTKA. Acesso em: 23 de Set de 2021

IEA. **Emissões de CO₂**. Revisão Global de Energia 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>. Acesso em 08 de Jan de 2022.

INVENTÁRIO BRASILEIRO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Informações gerais e valores preliminares 2009**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf. Acesso em 5 de Dez de 2021

IPCC. **Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza**. Jul de 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 27 de Dez de 2021.

IPCC. **RESUMO COMENTADO**. Observatório do Clima. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6FACTSHEET_FINAL.pdf. Acesso em: 16 de Jan de 2022.

ITIKAWA, Regis. **ECOMENERGIA**. 30 de Jul de 2021. Disponível em: <https://www.ecomenergia.com.br/blog/producao-de-energia-eolica-no-brasil/#:~:text=Energia%20E%C3%B3lica%20chega%20a%2019,capacidade%20instalada%20j%C3%A1%20foi%20atingida>. Acesso em: 27 de Out de 2021.

JOSÉ, Eustáquio Diniz Alves. **Aumenta a concentração de CO₂ na atmosfera em 2018**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/02/11/aumenta-a-concentracao-de-co2-na-atmosfera-em-2018-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em 7 de Fev de 2022.

LUIZ, Pedro Luciano. **Seminário ciclo do Carbono**. São Paulo: Instituto de Física, USP, 2016. Disponível em: http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisMeioAmb2016/Apres_Fismamb01_CicloCarbono_LuizPedro.pdf. Acesso em 12 de Set de 2021.

MEYER, M. F *et al*. Aspectos e impactos ambientais gerados pela energia eólica. II Congresso nacional de engenharia de petróleo e gás natural (IV Workshop de engenharia de petróleo), **Revista Editorarealize**, Rio grande do Norte, 2013. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/26827>. Acesso em: 29 de Jan de 2022.

MINISTERIO DE MINAS E ENERRGIAS. **Relatório geral 2006**. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36127/293444/RelatorioMME2006_Geral.pdf/fd7149ee-50a9-b323-8aee-c4e9f3067b35. Acesso em 23 de Dez de 2021.

MOREIRA, Helena Margarida; GIOMETTI, Analucia Bueno. **O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa**. CONTEXTO INTERNACIONAL – vol. 30, no 1, Jan 2008. Disponível: em:

<https://www.scielo.br/j/cint/a/9RkZZcmTbc6mm8wRHHc5j3Q/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em 22 de Dez de 2021.

MURSA, Giovana. Conheça as principais conferências ambientais do mundo. **Quero bolsa**, 07 de Jan de 2020.

PEDRO, Barreto. **Rio-92. mundo desperta para o meio ambiente**. Revista de informações e debates do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (IPEA). Brasília, 10 de Dez de 2009. Disponível em:

https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2303:catid=28&Itemid.

Acesso em: 28 de Dez de 2022.

VIEIRA, João Pedro Bazzo. **O Acordo de Pais o que é**. 2017. POLITIZE. Disponível em:

<https://www.politize.com.br/acordo-de-paris/>. Acesso em: 20 de Dez de 2021

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. 2. Ed. São Paulo: Manole Ltda, 2011.

Disponível em: [file:///Users/joelsantos/Downloads/ file:///Users/joelsantos/Downloads/livro-geracao-de-energia-eletrica-reis-lineu-belicopdf_compress.pdf](file:///Users/joelsantos/Downloads/file:///Users/joelsantos/Downloads/livro-geracao-de-energia-eletrica-reis-lineu-belicopdf_compress.pdf). Acesso em: 18 de Jan de 2022.

REIS, Alan. **Panorama da emissão de CO₂ na matriz elétrica Brasileira**. 2021. Disponível em: <https://tecsus.com.br/blog/panorama-da-emissao-de-co2-e-matriz-eletrica-brasileira/>.

Acesso em: 27 de Jan de 22.

REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA **Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos, 2012**. Disponível em:

<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/317/267>. Acesso em 18 de Nov de 2021.

RIBEIRO, Wagner Costa. **A ordem Internacional Ambiental**. 1. ed. São Paulo. 2001.

Disponível em:

<file:///Users/joelsantos/Downloads/RIBEIRO,%20Wagner%20Costa%20A%20Ordem%20Ambiental%20Internacional%20SA%CC%83%C2%A3o%20Paulo%20Contexto,%202001.pdf>

. Acesso em 27 de Nov de 2021.

SCHENVERG, Mario. **Inédito de Chomsky Argentina: da prato ao caos Poesia e Sociedade**. 2002. Estudos Avançados. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/eav/issue/view/733>. Acesso em 22 de Fev de 2022.

SENADO. **O protocolo de Quioto**. 2004, Coleção Ambiental – vol III. Disponível em:

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>. Acesso em 20 de Dez de 2021.

SILVA, Darly Henrique. **Protocolos de Montreal e Kyoto. pontos em comum e diferenças fundamentais**. Revista Brasileira de Política Internacional, Centro de Estudos Globais da Universidade de Brasília, Instituto de Relações Internacionais, Universidade de Brasília,

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília – DF. 36 f, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpi/a/zjQVHn4TnX4LJcpfYDssBbS/?lang=pt>. Acesso em: 10 de Dez de 2021. Acesso 14 de Dez de 2021.

SCHAUENBERG, Tim. **Protocolo de Kyoto foi marco climático, mas insuficiente**. 2020. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/protocolo-de-kyoto-foi-marco-na-prote%C3%A7%C3%A3o-clim%C3%A1tica-mas-insuficiente/a-52399555>. Acesso em: 07 de Dez de 2021.

TERCIOTE, Ricardo. **A Energia Eólica e o Meio Ambiente**. 4 Encontro de Energia no Meio Rural, UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica - Departamento de Campinas-São Paulo. 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100002&script=sci_arttext. Acesso em 29 de Jan de 2022.

TOLEDO, Thiago. **Matriz energética mundial**, 2020. Disponível em: <https://public.flourish.studio/story/594371/>. Acesso em 30 de Out de 2021.

UDOP (União Nacional de Bioenergia). **Ranking de emissão de gases poluentes desde 1850**. Praça João Pessoa, 26 - Centro - 16.010-450 - Araçatuba/SP, 28 de Nov de 2021.

Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2021/10/28/brasil-e-4-no-mundo-em-ranking-de-emissao-de-gases-poluentes-desde-1850.html>. Acesso 4 de Jan de 2021.

VALUUP. 14 de Mar de 2019. Disponível em: <https://www.valuup.com.br/energia-eolica-decola-no-brasil-crescimento-anual-medio-e-de-62-ao-ano-desde-2005/>. Acesso 20 de Set de 2021.