

Maria Laura Souza Mesquita

**Estudo Comparativo da Demanda de Carvão em um Contexto de Transição Energética**

Sao Paulo  
2021

Maria Laura Souza Mesquita

**Estudo Comparativo da Demanda de Carvão em um Contexto de Transição Energética**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas no curso de Graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Luis Enrique Sánchez

Sao Paulo  
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Mesquita, Maria Laura

Estudo Comparativo da Demanda de Carvão em um Contexto de  
Transição Energética / M. L. Mesquita -- São Paulo, 2021.

35 p.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de  
Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Energia 2.Carvão 3.Transição Energética I.Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço aos meus pais por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões e por sempre me incentivarem fortemente a estudar.

Também agradeço a todos os meus companheiros do movimento estudantil, sobretudo aqueles do Coletivo Mandacaru, meus companheiros de gestão no Grêmio Politécnico, da gestão do DCE Livre da USP e meus companheiros do Disparada, os quais me trouxeram os melhores momentos da minha graduação, e me fizeram chegar até o ponto deste trabalho ser concluído.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica, em especial, aos professores do PMI, que compartilharam um pouco do seu saber e me permitiram amar o curso que escolhi.

Agradeço também meu orientador Prof. Luis Enrique Sánchez, que me auxiliou no processo de construção deste trabalho e na escolha de um tema impactante no futuro no planeta.

Também deixo meus agradecimentos aos funcionários da Escola Politécnica que me auxiliaram durante toda a graduação ao ponto deste trabalho ser concluído.

## **Resumo**

Este trabalho buscou compreender como se dará a demanda de carvão nos próximos anos a partir de um estudo comparativo entre projeções das emissões de gás carbônico feitas pela Agência Internacional para Energias Renováveis e pela Agência Internacional de Energia. Em um contexto de mudanças climáticas, a compreensão de como será o de carvão como fonte energética é fundamental, sendo o entendimento dos fatores que afetam sua demanda importante para entender se o cumprimento de metas que minimizem os impactos climáticos, uma vez que o a enegia a base de carvão é uma forte responsável pela emissão de gás carbônico. Foi feita uma busca de fontes recentes que contenham projeções da demanda futura de carvão para atingir as conclusões do estudo. A redução no mercado de carvão é certa em todos os cenários, porém a velocidade com que isso ocorrerá depende de diversos fatores, destacando o cumprimento ou não das metas estabelecidas no Acordo de Paris (2015). Para se realizar qualquer cenário que alcance metas de redução da temperatura média do planeta de 1,5°C, é necessária ação coordenada e conjunta global. O mercado de carbono, que surgiu com o Protocolo de Kyoto (1997), é um fator influenciador para transição energética, por ser uma fonte de recursos para governos e também por influenciar na diminuição das emissões industriais. A competitividade de fontes renováveis se destaca para o entendimento de um possível decréscimo na produção de carvão nos próximos anos, fator intrinsecamente relacionado ao avanço tecnológico. Por fim, o preço do gás natural tem sido e tende a continuar sendo um dos principais motivadores da queda do consumo de carvão.

**Palavras-chave:** Carvão. Transição Energética. Energia.

## **Abstract**

This paper discusses the future demand for coal under different energy transition scenarios based on a comparative study between projections of carbon dioxide emissions made by the International Renewable Energy Agency and the International Energy Agency. In a context of climate change, the understanding of the use of coal as an energy source is fundamental, and knowing which factors affect its demand is important to comprehend whether the fulfillment of goals that minimize climate impacts. In order to reach the conclusions of this study, it was necessary to conduct a research in the materials that brought emissions projections, understanding which factors were able to influence these projections. The reduction in the coal market is certain in all scenarios, but the speed with which this will occur depends on factors, highlighting the fulfillment of the goals established in the Paris Agreement. To achieve any scenario that have as target reducing the planet's average temperature by 1.5°C, coordinated and joint global action is required. The carbon market, which emerged with the Kyoto Protocol, is an influential factor in the energy transition, as it is a source of resources for governments and also influences the reduction of industrial emissions. The competitiveness of renewable sources stands out for the understanding of a possible decrease in coal production in the coming years, a factor intrinsically related to technological advances. Finally, the price of natural gas has been and tends to continue to be one of the main motivators for the decline in coal consumption.

**Keywords:** Coal. Energy. Energy Scenarios.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Uso de Energia por Fonte . . . . .	12
Figura 2 – Consumo de carvão por região de 2000 a 2021 . . . . .	13
Figura 3 – Emissões acumulada por país . . . . .	14
Figura 4 – Países com maiores índices de emissões acumuladas entre 1850 e 2021 . . .	15
Figura 5 – Quadro Comparativo de Cenários de Transição Energética . . . . .	21
Figura 6 – Economia do TES e DDP relativa ao BES . . . . .	22
Figura 7 – Cenários de Emissão de CO2 . . . . .	23
Figura 8 – Quadro Comparativo de Cenário de Transição Energética . . . . .	24
Figura 9 – Emissões de CO2 do setor de Energia - Cenários Comparativos até 2050 . .	24
Figura 10 – Projeção do uso de carvão até 2050 . . . . .	27
Figura 11 – Projeção de Consumo de Combustíveis Fósseis . . . . .	27
Figura 12 – Comparativo de Cenários de Emissão de CO2 em Gt entre 2021 e 2050 . . .	29

### **Lista de abreviaturas e siglas**

APS	Announced Pledges Scenario
BES	Baseline Energy Scenario
CO2	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
COP21	21ª Conferência das Partes
COVID-19	Corona Vírus
DDP	Deeper Decarbonisation Perspective
EUA	Estados Unidos da América
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
NZE	Net Zero Emissions
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PES	Planned Energy Scenario
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
SDS	Sustainable Development Scenario
STEPS	Stated Policies Scenario
XVIII	Século 18
XX	Século 20
°C	Graus Célsius

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Revisão da Literatura</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Consumo global de carvão global</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Metas Climáticas</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Fatores que influenciam a Transição Energética</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Cenários de Transição Energética</b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Consequências da Transição Energética</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados</b>	<b>21</b>
4.1.1	Cenários de Transição Energética	21
4.1.2	Fatores que Influenciam na Transição Energética	25
4.1.3	Demanda de Carvão	25
<b>4.2</b>	<b>Discussão</b>	<b>28</b>
4.2.1	Cenários de Transição Energética	28
4.2.2	Fatores que Influenciam na Transição Energética	29
4.2.3	Demanda de Carvão	30
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>31</b>
	<b>Referências</b>	<b>33</b>

## 1 Introdução

Desde os primórdios da humanidade, o homem utiliza energia para realização de funções que garantam a sua sobrevivência. A História mostra uma grande evolução em relação às fontes de energia usadas pelo homem, sendo a Revolução Industrial um dos principais marcos nesse sentido. A Revolução Industrial trouxe a possibilidade de produção em grande escala, isso se deu, sobretudo, devido à transição energética baseada no uso de carvão mineral em substituição da lenha no uso de máquinas a vapor (FARIAS; SELITTO, 2011).

O carvão mineral é um recurso natural não renovável de extrema relevância. Segundo dados da INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2015), é a segunda fonte de energia mais utilizada no mundo, ficando atrás apenas do petróleo, e é responsável por 26% da matriz energética mundial. Sua ampla utilização está diretamente relacionada a sua viabilidade econômica: existem abundantes reservas no mundo e a tecnologia utilizada em toda a sua cadeia de produção possui menor nível de complexidade quando comparada a outras fontes de energia.

Apesar da importância histórica do carvão mineral em relação ao desenvolvimento da humanidade, seu uso como fonte energética possui consequências. A queima do carvão para a produção de energia emite metais, dentre eles, mercúrio, vanádio, cádmio, arsênio e chumbo. A principal consequência do uso do carvão na matriz energética está relacionada à emissão de dióxido de carbono, um dos gases responsáveis pelo aquecimento global. (SOARES, 2018)

Com a Revolução Industrial no século XVIII, a humanidade passou por grandes transformações no seu modo de produção, a partir desse ponto, houve um aumento vertiginoso na demanda de energia, afinal o sistema econômico desenvolvido a partir dessa revolução se baseia em alta produção e alto consumo. Sendo assim, o mundo a partir do século XVIII se viu dependente energeticamente do carvão e, desde então, sofre com a crescente emissão de gases consequentes dessa produção.

A emissão dos Gases de Efeito Estufa na atmosfera, cada vez mais intensa, tem diversas consequências socioeconômicas, podendo citar entre elas o aumento da desertificação, a elevação dos níveis dos oceanos, secas extremas, a redução da produção de alimentos, inundações, ondas de migração, extinção de espécies e até mesmo o aumento de doenças endêmicas. O coronavírus, responsável pela atual crise econômico-sanitária pela qual o mundo passa, também pode ser uma consequência das mudanças climáticas, dado que as mudanças climáticas geram alterações de biodiversidade. (BEYER; MANICA; MORA, 2021)

A partir da segunda metade do século XX, com maiores estudos sobre impactos ambientais e um maior entendimento sobre o aquecimento global, foram organizados encontros mundiais para

debater sobre o assunto e elaborar ações conjuntas para a reduzir os impactos socioeconômicos produzidos pelas mudanças climáticas. Vale ressaltar que esses encontros organizados pela Organização das Nações Unidas (ONU) foram uma resposta ao desenvolvimento industrial e consequência de manifestações organizadas por ambientalistas. Apesar de avanços na tecnologia, o ritmo de emissões devido ao modelo econômico exige grandes mudanças na forma de produção a nível mundial e, conseqüentemente, na redução do uso de combustíveis fósseis, colocando a produção de carvão em pauta.

O primeiro encontro que reuniu líderes de diversos países para debater sobre as mudanças climáticas foi a Conferência de Estocolmo em 1972, a partir dessa conferência foi definido que os países teriam responsabilidade em relação à preservação do meio ambiente, documentado na declaração de Estocolmo e também, a partir desse encontro foi criado o Programa das Nações Unidas pelo clima (PNUMA). Em 1992, houve a Eco-92, na cidade do Rio de Janeiro, encontro que reuniu representantes de 172 países, nela houve discussões sobre o modelo social de desenvolvimento e como esse modelo implica em problemas ambientais. Já em 1997, durante a COP 3, foi feito o Protocolo de Kyoto, documento que estabeleceu metas de diminuição de emissões de gás carbônico na atmosfera. A meta em teoria teria como prazo final 2012, mas foi estendida até 2020. A partir da criação de metas concretas de diminuição de emissão de gás carbônico, pode-se entender que era uma questão de tempo até a produção de carvão ser afetada. Houve ainda a Rio+10 e Rio+20, a primeira em 2002 em Joanesburgo e a segunda em 2012 no Rio de Janeiro. Destaca-se a Rio+20, em que se pautou, com a presença de 180 países, a economia verde e a necessidade de redução de poluentes firmados com a aprovação do Acordo de Paris.

Recentemente, a 26.<sup>a</sup> Conferência das Partes da ONU, em seu documento final, defendeu a redução de combustíveis fósseis, convocando os 200 países signatários a redução do uso de carvão como fonte de energia e também a redução de incentivos a essa fonte energética.

Segundo Balduino (2020), o Acordo de Paris busca criar uma forma de governança global tendo como objetivo mitigar os efeitos das mudanças climáticas e criar metas de redução da emissão de poluentes, assim como criar abordagens com funcionalidade de cumprir as metas. De qualquer forma, as metas do acordo deixam ainda mais explícito a necessidade de mudança na matriz energética, afetando diretamente a produção de carvão.

Ainda assim, o carvão historicamente é uma fonte de energia importante e existem muitas incertezas relacionadas à redução do seu uso. Por ser amplamente utilizado, existe toda uma cadeia produtiva ligada ao carvão, de forma que a redução do seu uso demanda tempo e investimento financeiro. Segundo o “Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050” da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), mesmo em cenários muito promissores de transição energética, cerca de 30% da produção de energia mundial até 2060 ainda seria dependente de

combustíveis fósseis, sendo, portanto, fundamental o investimento em tecnologias para redução do impacto ambiental e melhor aproveitamento dessas fontes de energia. (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2020)

A redução do uso de carvão também se relaciona à diminuição do custo de outras fontes energéticas, como o gás natural e fontes renováveis como a solar e a eólica. O próprio cumprimento das políticas ambientais impacta diretamente no uso de carvão, apesar de existirem fortes pressões relativas à urgência da transição energética, a história mostra dificuldades no cumprimento de metas ambientais, como visto na prorrogação do Protocolo de Kyoto e na 26.<sup>a</sup> Conferência das Partes, realizada em Glasgow, em novembro de 2021.

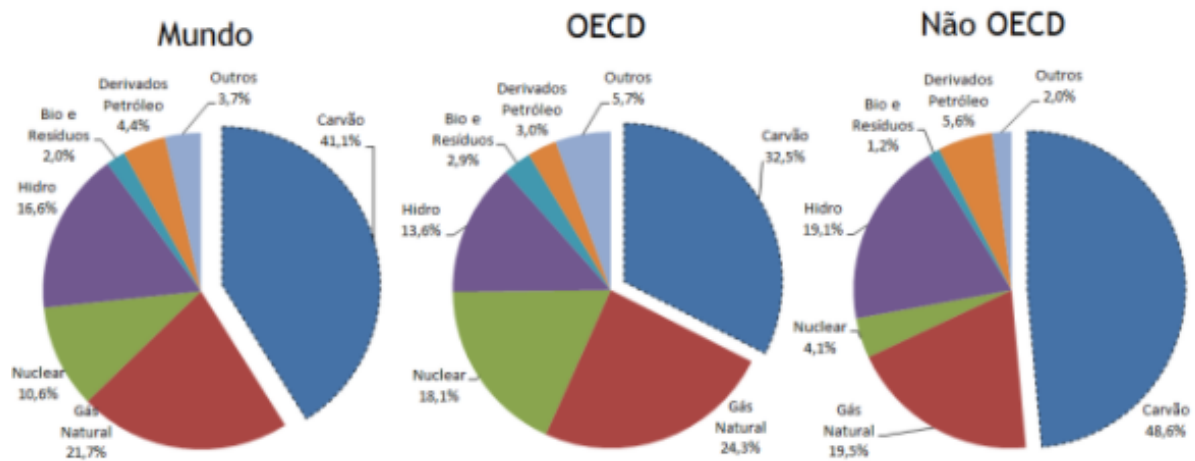
Com a anunciada redução da produção de carvão mineral, o presente estudo procurou comparar as projeções de produção e consumo feitas por diferentes entidades, com diferentes horizontes temporais, buscando entender suas premissas e pontos de divergência.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Consumo global de carvão global

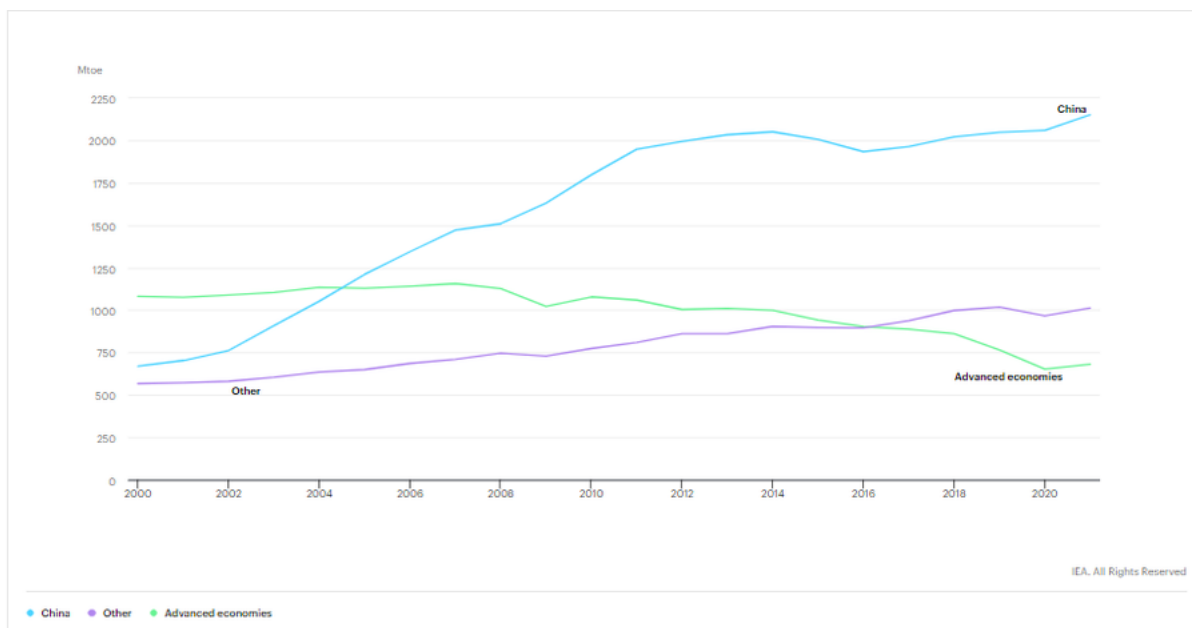
O carvão permaneceu como principal fonte de energia no mundo até 1961, quando o petróleo assumiu o posto de principal fonte energética. Porém, ainda assim, a partir de dados da nota técnica do Ministério de Minas e Energia, Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte de 2050, é possível perceber que o carvão possui relevância quanto a seu uso como fonte de energia a nível mundial. Na figura 1, é possível perceber o uso por fonte de energia e, conseqüentemente, a relevância do carvão. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018)

**Figura 1 – Uso de Energia por Fonte**



Ministério de Minas e Energia, 2020

Em 2020, o carvão sofreu a maior queda desde a Segunda Guerra Mundial relativa ao seu consumo devido à pandemia do COVID-19. Segundo a International Energy Agency (IEA), no “Global Energy Review 2021”, além da desaceleração da indústria, outros fatores foram relevantes para a queda na produção de carvão, dentre eles: queda no preço do gás natural e o maior uso de energias renováveis. Ainda assim, é esperado pela agência uma recuperação na demanda de carvão mundialmente, superando inclusive os níveis de 2019, as razões disso seriam o crescimento das economias asiáticas e o aumento dos preços do gás natural, que forçam principalmente os Estados Unidos e a União Europeia a retomarem maior uso de carvão. Nesse sentido, destaca-se a importância do carvão como fonte energética em grandes economias, conforme mostrado na figura 2: (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021a)

**Figura 2 – Consumo de carvão por região de 2000 a 2021**

International Energy Agency, 2021

Segundo o Global Energy Review 2021, da INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021a), a China destaca-se como o principal impulsionador do consumo de energia baseada em carvão; mesmo em 2020, com a crise econômico-sanitária do coronavírus, sua demanda de carvão aumentou. É esperado ainda um aumento de 4% do uso de carvão na economia chinesa em 2021. Para se ter dimensão, o consumo chinês representa um terço do consumo global de carvão.

Outras economias asiáticas em desenvolvimento baseiam seu plano de crescimento no consumo de carvão, a Índia é um exemplo disso, apesar de uma forte queda no consumo devido ao coronavírus, é esperado, segundo a INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021a), uma recuperação no ano de 2021 e um aumento de 9% no consumo de carvão.

Já nos Estados Unidos, é esperado um crescimento momentâneo na demanda de carvão após muitos anos de declínio, isso se deve sobretudo ao aumento dos preços do gás natural, uma das principais fontes de energia usadas nos EUA. Em relação à União Europeia, a situação é similar aos Estados Unidos, com uma redução contínua no uso de carvão nos últimos anos, vale ressaltar que no caso da União Europeia, anúncios políticos recentes criam a expectativa de redução do uso de carvão nos próximos anos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021a).

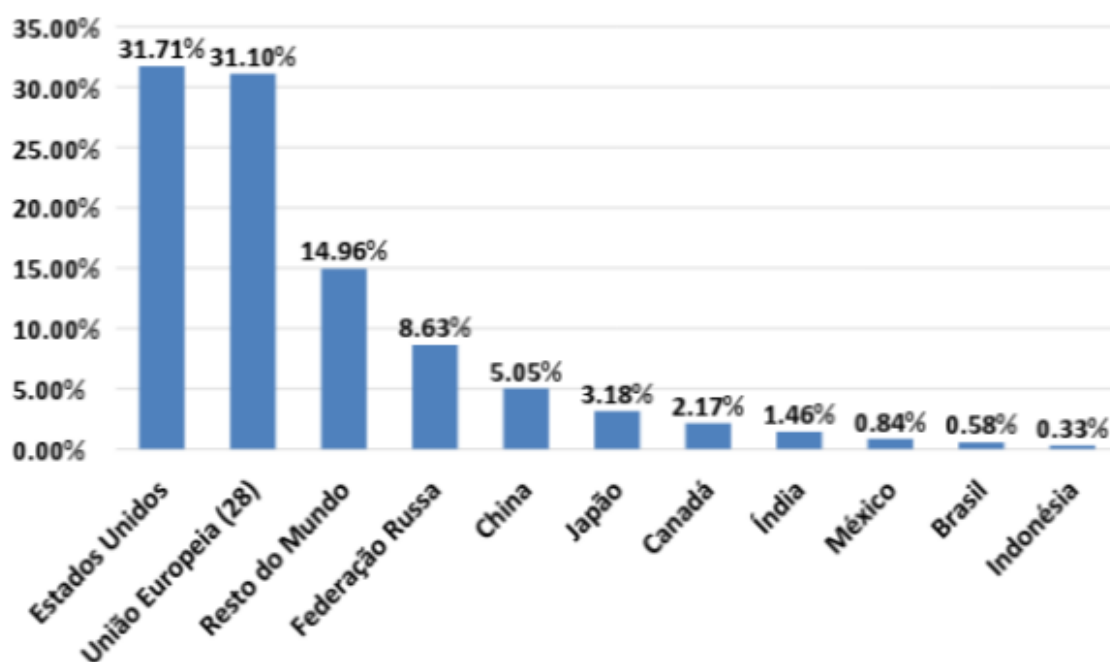
## 2.2 Metas Climáticas

A 3ª Conferência das Partes (COP) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas é um marco relativo ao início das ações de grande abrangência sobre o enfrentamento

da crise climática. A partir do Protocolo de Kyoto, estabeleceu-se metas referentes à redução de emissões de Gases do Efeito Estufa para os países que assinaram o documento. É um marco importante por ser uma ação coordenada que conseguiu com que 84 países fossem signatários do documento final, sendo considerada a primeira política global feita sobre questões climáticas. A partir do Protocolo de Kyoto, se iniciou o mercado regulado de carbono. Existem duas categorias de mercado de carbono, o que advém da assinatura do Protocolo de Kyoto e se relaciona com a regulação governamental e o mercado de carbono alternativo ou voluntário, feito a partir de empresas e organizações não governamentais. Vale ressaltar que, como as metas não foram atingidas, o Protocolo de Kyoto foi estendido até 2017. Outro ponto a ser destacado é referente ao estabelecimento, por parte da União Europeia, do seu próprio mercado regulado de carbono. ((SOUZA; ANDRADE, 2014)

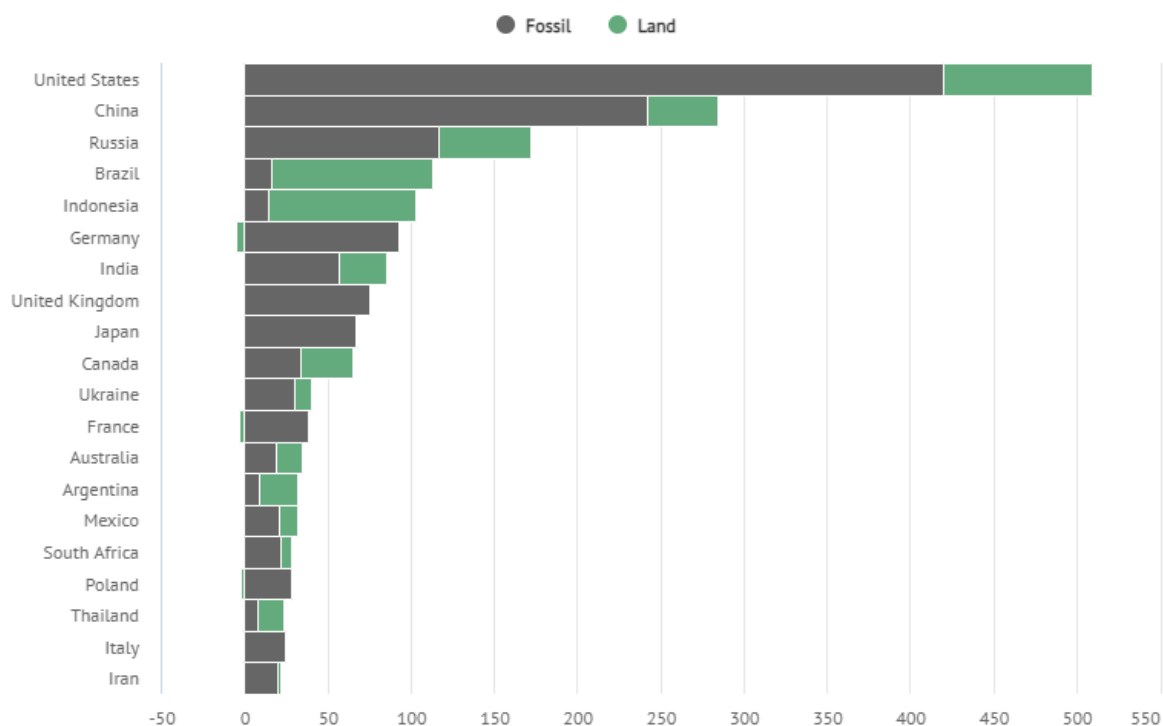
A ideia de que a ação de combate para evitar as mudanças climáticas deve ser tomada conjuntamente devido à abrangência global, começou na Rio-92. O Protocolo de Kyoto tem, entre seus princípios, o da “Responsabilidade Comum porém diferenciada”, o que significa, no contexto de mudanças climáticas, que apesar dessas mudanças terem escala global, a contribuição de países é diferenciada. Além disso, o Protocolo de Kyoto também considera o princípio da Responsabilidade Histórica, afinal, ao longo do tempo, alguns países contribuíram mais em relação à emissão de gases poluentes conforme pode ser visto na figura 3. (SOUZA; CORAZZA, 2017)

Figura 3 – Emissões acumulada por país



Por outro lado, estudos apontam que, ao se analisar a emissão histórica de CO<sub>2</sub>, considerando outros fatores além da emissão por queima de combustíveis fósseis, o ranking de emissões se altera, colocando os Estados Unidos em primeiro lugar, muito distante do segundo colocado com 20% do total de emissões históricas globais. Em segundo lugar segue a China com 11%, Rússia com 7%, Brasil com 5% e Indonésia com 4%. A Alemanha e o Reino Unido seguem com 4% e 3% respectivamente das emissões globais, porém, não se inclui na análise, as emissões de colônias deles. (EVANS, 2021)

**Figura 4 – Países com maiores índices de emissões acumuladas entre 1850 e 2021**



Evans, 2021

A partir de 2015, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21) em Paris, foi feito um novo acordo que substituiu o Protocolo de Kyoto que teria fim em 2017. No novo acordo, países se comprometeram a diminuir a temperatura do planeta em 2°C. O Acordo de Paris surge em um contexto em que muitos países não cumpriram com as metas estabelecidas no Protocolo de Kyoto, sendo considerado o principal documento já feito para minimizar as mudanças climáticas. (VIEIRA; HENRIQUE, 2021)

Ademais, o Acordo de Paris apresenta uma mudança de paradigma importante em relação às responsabilidades atribuídas a cada nação com a criação das “Contribuições Nacionalmente Determinadas” que visando o cumprimento das metas estabelecidas e o combate às mudanças climáticas, cada país, a partir da sua realidade e capacidade, estabelece suas próprias metas refletindo sua responsabilidade perante o acordo. (BALDUINO, 2020)

Entre os principais pontos do acordo tem-se: esforços para limitar o aumento da temperatura a 2°C, esforços para reduzir a vulnerabilidade de países menos desenvolvidos em relação às mudanças climáticas e eventos extremos, estímulo ao auxílio de países mais desenvolvidos sobre os menos desenvolvidos buscando o atingimento das metas a partir de suporte financeiro e tecnológico, estimular a pesquisa em busca de avanços tecnológicos que deem suporte o combate aos efeitos climáticos. (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015)

### **2.3 Fatores que influenciam a Transição Energética**

Dentre os fatores que influenciam a transição energética, segundo a INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020), pode-se elencar a necessidade de aumentar as metas regionais relativas a descarbonização, a necessidade de políticas de incentivo em todas as regiões do globo, assim como uma alta necessidade de investimentos financeiros. A necessidade de cooperação entre países é um fator fundamental dado que as ações relativas à transição energética, para serem efetivas, devem ser feitas coordenadamente. O tempo também é um fator que influencia diretamente em todos os cenários de transição energética visto que o planeta se encontra à beira de um colapso climático.

O cumprimento das metas estipuladas pode ser visto como um dos maiores obstáculos quando se pensa em transição energética. Segundo a INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020), no ritmo atual, não será possível cumprir as metas relativas ao Acordo de Paris. Apesar do crescimento do setor de energias renováveis estar em ritmo mais acelerado do que o crescimento da necessidade de energia, ao se observar mais de perto setores de indústria e construção, o uso de energias renováveis esse crescimento ainda é muito lento.

Em relação a avanços tecnológicos, existe também uma necessidade de aceleração; as melhorias relativas à eficiência energética em 2019 foi de 1,2%, menos que a média por ano da última década (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021a). O Global Renewables Outlook mostra que apenas a melhoria da eficiência energética, já representaria 90% das medidas de mitigação necessárias para reduzir as emissões ligadas à indústria de energia.

O Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050 demonstra que existem cinco pilares a serem considerados ao se pensar em uma transição energética que seja efetiva: a eletrificação, ou seja, a necessidade de aumento da participação da eletricidade quando comparada a outras formas de energia; o aumento da flexibilidade do sistema de energia, sendo este baseado em aceitação de inovações tecnológicas, modelos de negócios relativos ao tema e novos sistemas de operações; o aumento do uso de fontes renováveis de energia já convencionais como bioenergia, energia solar, energia térmica e geotérmica e energia hidrelétrica; o uso de hidrogênio verde principalmente para suprir demandas de energia e competindo com o hidrogênio azul, advindo de combustíveis fósseis; os desafios relativos ao uso de combustíveis fósseis, sendo necessário

o aumento da eficiência energética e a redução da demanda de energia.(INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2020)

As mudanças climáticas também influenciam o mercado financeiro, segundo o Fundo Monetário Internacional em seu relatório anual de 2019, incêndios, enchentes, secas, aumento dos níveis dos oceanos são exemplos de impactos climáticos que afetam o mercado financeiro, sendo necessário a ação coordenada e conjunta de governos para evitar cenários catastróficos. Conforme citado anteriormente, os investimentos necessários para se fazer a transição energética são muito grandes, de forma que o mercado exerce papel crucial para que o cenário de transição energética seja possível.

As estratégias de precificação de carbono podem ser uma das chaves para se atingir os objetivos de estabilização climática. A taxação do carbono além de gerar um retorno financeiro grande, também pode, em países desenvolvidos, significar redução de encargos trabalhistas para empresas e, em países em desenvolvimento, o retorno pode ser redirecionado para o atingimento das metas da ONU de desenvolvimento, significando grandes ganhos para a população desses locais e, consequentemente, influenciando favoravelmente para ocorrer transição energética. (PARRY, 2019)

Por uma análise do decrescimento do mercado de carvão no contexto estadunidense, pode-se chegar a seis fatores fundamentais para este processo: o custo baixo do gás natural a partir da revolução do faturamento hidráulico, a constante redução do custo de fontes de energia renováveis, sendo uma boa alternativa ao carvão, o envelhecimento da infraestrutura ligada ao carvão que encarece a produção, crescimento de setores interessados no encerramento da produção de carvão, o crescimento do interesse de corporações em práticas sustentáveis e fontes de energia verdes e, por fim, o aumento da preocupação com mudanças climáticas e emissão de carbono. (WAMSTED; FEASTE; SCHLISSEL, 2019)

## **2.4 Cenários de Transição Energética**

O “Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050” da INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020) considerou quatro possíveis cenários de transição energética: Planned Energy Scenario (PES), Transforming Energy Scenario (TES), Deeper Decarbonization Perspective (DDP), Baseline Energy Scenario (BES).

O primeiro cenário, PES, é baseado nos atuais planos de governos, planos energéticos e outros objetivos atualmente já apresentados, como o Acordo de Paris. Já o TES se mostra como um cenário mais ambicioso no que diz respeito à transição energética, ele se baseia em um uso mais amplo de energias renováveis e em um aumento da eficiência energética adquirido através de avanços tecnológicos, com isso, o objetivo final seria diminuir a taxa de aumento da temperatura

global em 0,5 °C. O DDP, no que lhe concerne, foca na redução de CO<sub>2</sub> por meios adicionais aos apresentados nos cenários anteriores, tendo como objetivo chegar à emissão zero entre 2050 e 2060. Por fim, o BES se baseia nas políticas de descarbonização existentes na época em que o Acordo de Paris foi assinado junto a históricos de políticas desse tipo.

O “Global Material Resources Outlook to 2060” da OECD (2019) apresenta uma projeção de crescimento de combustíveis fósseis entre 2011 e 2060. Entre as razões colocadas para esse aumento estão o crescimento da economia em até quatro vezes, porém o ritmo de crescimento do uso de combustíveis fósseis não acompanhará o ritmo de crescimento da economia, visto que também se considera o desenvolvimento tecnológico, o crescimento da reciclagem e as consequências ambientais interligadas as metas relativas às mudanças climáticas, esses que devem desacelerar o uso de combustíveis fósseis.

## **2.5 Consequências da Transição Energética**

Conforme a INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020), quando avaliados os cenários de profunda transformação energética (DDP), os ganhos são diversos, para além da questão ambiental, quando comparado ao Transforming Energy Scenario (TES) custaria US \$19 trilhões a mais que o Planned Energy Scenario (PES), porém traria benefícios de pelo menos US \$50 trilhões até 2050. Já o Deeper Decarbonization Perspective (DDP) custaria mais 42 trilhões para atingir zero emissões de carbono, enquanto seus benefícios chegariam a US \$62 trilhões.

Além disso, há ganhos relativos ao desenvolvimento socioeconômico global, estima-se que seguindo os cenários de transição energética, haveria um aumento de empregos ligados a geração de energia renovável, chegando a 42 milhões de empregos até 2050 a nível global. Em relação a empregos no setor de energia, estes chegariam a 100 milhões em 2050, cerca de 40 milhões a mais do que a quantidade existente atualmente. (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2020).

Os ganhos para a saúde são diversos, estima-se que atualmente, 90% da população mundial respira ar poluído, o que causa cerca de 5 milhões de mortes prematuras por ano. É possível reduzir 1,9 milhão de mortes por ano dependendo do cenário de transição energética. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021b)

Em relação ao sistema financeiro, os efeitos climáticos afetam de duas formas principais: a primeira relacionada ao risco físico, ou seja, de dano a propriedades e infraestruturas e, o segundo, relacionado à política climática, tecnologia e consumo relativos ao ajuste à economia de baixo carbono.(GRIPPA; SCHMITTMANN; SUNTHEIM, 2019)

Segundo Beschloss e Mashayekhi (2019), existe todo um segmento de mercado sendo moldado

em torno do meio ambiente e os *green bonds* se apresentam como um exemplo disso. Esses títulos, apesar de representarem uma parcela pequena em relação ao mercado global, oferecem muitas informações, sendo mais transparentes para análise. Dessa forma, a chamada finanças sustentáveis, deve continuar a ganhar escala principalmente visando a transição energética.

### 3 Materiais e Métodos

A metodologia aplicada se baseou em um amplo levantamento de estudos, atentando-se às premissas adotadas, as finalidades e a extensão tanto local, quanto temporal de cada projeção. A pesquisa é qualitativa e busca analisar as projeções de carvão por um olhar crítico.

As etapas de trabalho delineadas foram:

#### Etapa 1: Levantamento exploratório

Esta etapa consiste no levantamento de fontes de informação sobre demanda futura de carvão, compreendendo:

- Levantamento exploratório de estudos sobre projeções de demanda futura de carvão térmico e metalúrgico, mediante uso de motores de busca na internet;
- Levantamento exploratório de estudos sobre projeções de demanda futura de energia e proporção de combustíveis fósseis/carvão, mediante uso de motores de busca na internet;
- Seleção de publicações de interesse e organização das informações apresentadas nas publicações selecionadas, considerando-se: (i) horizonte temporal, (ii) premissas em que se basearam as projeções (ex. taxa de crescimento da demanda de energia, percentual de geração de energia elétrica oriundo de fontes não fósseis) ou cenários de transição energética empregados, (iii) critérios ou modelos utilizados para realizar as projeções.

#### Etapa 2: Análise da informação

Esta etapa consiste na interpretação das informações obtidas das fontes selecionadas, à luz da bibliografia pertinente, compreendendo:

- Pesquisa bibliográfica em bases indexadas;
- Organização das informações e preparação de quadros comparativos, segundo cenários de transição energética;

#### Etapa 3: Conclusão

A partir das análises feitas com os dados levantados nas etapas anteriores, foi possível compreender quais os fatores influenciam na produção de carvão e na produção de energia e, dessa forma, chegar ao entendimento dos possíveis cenários de transição energética e o papel do carvão nesses cenários.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Cenários de Transição Energética

Nesta seção, são apresentados dois conjuntos de cenários de transição energética até 2050, o da Agência Internacional de Energia Renovável, publicado em 2020, e o da Agência Internacional de Energia, publicado em 2021.

O “Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050” da INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020) apresenta alguns possíveis cenários de transição energética, sendo eles: Planned Energy Scenario (PES), Transforming Energy Scenario (TES), Deeper Decarbonization Perspective (DDP), Baseline Energy Scenario (BES).

**Figura 5 – Quadro Comparativo de Cenários de Transição Energética**

	Deeper Decarbonization Perspective	Transforming Energy Scenario	Planned Energy Scenario	Baseline Energy Scenario
Nível de Emissões até 2050 (Gt)	-	9,5Gt	33Gt	43Gt
Investimento (USD) T	130	110	95	-

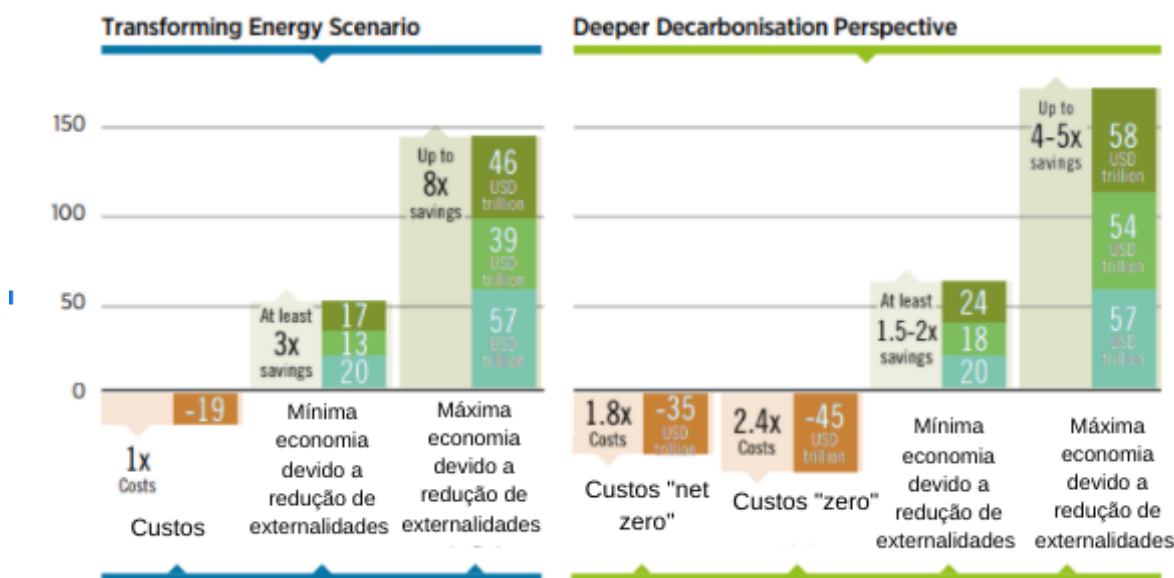
Própria, 2021

No Planned Energy Scenario (PES), cenário de transição energética comparativamente menos transformador, mas ainda alcançando as mudanças necessárias para redução dos impactos climáticos, estima-se um nível de emissões de 33Gt em 2050, valor 25% menor do que em cenários sem grandes mudanças relativas ao cenário atual. Esse cenário é baseado no atingimento das metas colocadas no Acordo de Paris, ou seja, é o cenário em que todos os países cumpririam com as metas estabelecidas e para realizá-lo seria necessário, no total, um investimento de 95 trilhões de dólares.

Já no Transforming Energy Scenario é esperado um investimento de 110 trilhões de dólares, ou seja, 19 trilhões a mais do que o esperado de investimentos seguindo as metas atuais, com um retorno estimado de, no mínimo, 31 trilhões de dólares e, sendo possível chegar em 123 trilhões de dólares, comparativamente ao cenário atual. Além disso, com esse cenário, estima-se que se atingiria até 2050 um total de emissões de 9,5Gt de gás carbônico, número 78% menor do

que no cenário sem transição energética. A seguir, na figura 6, é possível perceber por meio da análise gráfica a economia dos cenários TES e DDP em relação ao cenário BES.

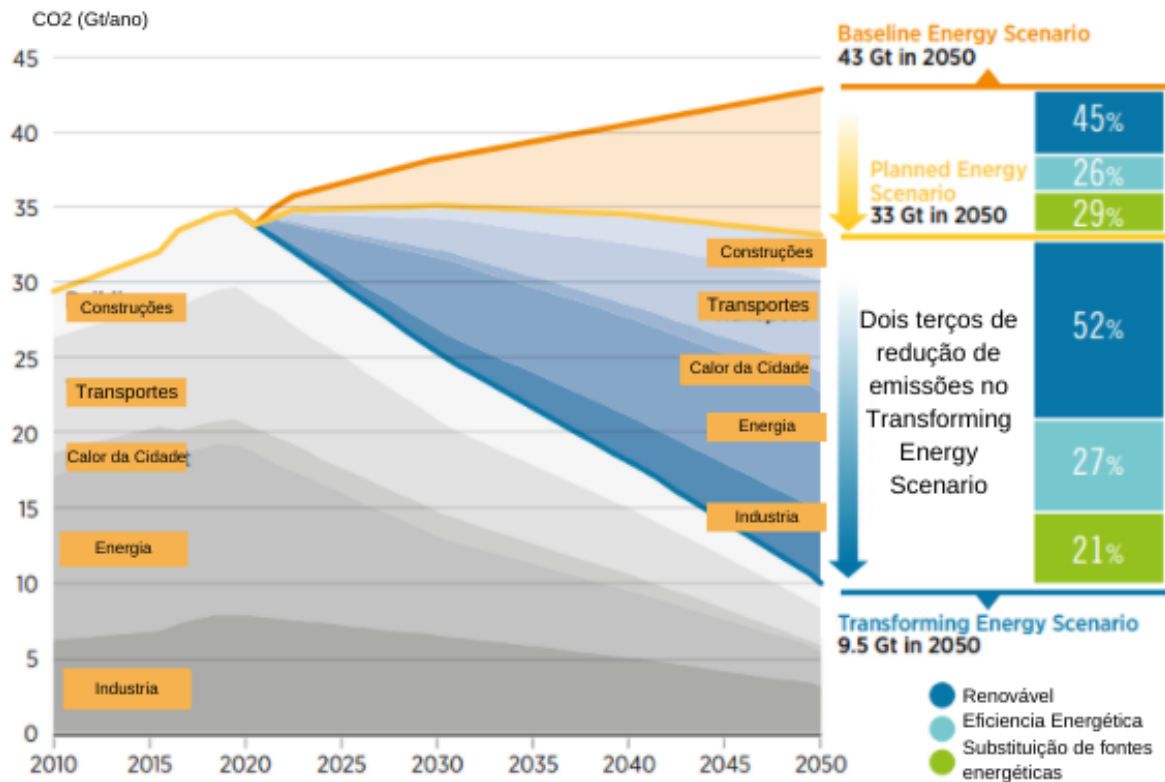
**Figura 6 – Economia do Transforming Energy Scenario e Deeper Decarbonization Perspective relativa ao Baseline Energy Scenario**



International Renewable Energy Agency, 2020

O DDP assume uma perspectiva mais radical, mas ainda plausível de transição energética, levando ao gasto total de 130 trilhões de dólares com economia de, no mínimo, 27 trilhões de dólares e podendo chegar até 134 trilhões de dólares quando se considera que a progressão atual será mantida. O objetivo final do plano seria de chegar até 2050 com emissão zero de carbono.

Por fim, o Baseline Energy Scenario (BES), apresenta uma perspectiva de projeção do uso de energia a partir das políticas existentes antes do Acordo de Paris, ou seja, seria um caso que nem ao menos as metas do Acordo de Paris seriam cumpridas. Nesse cenário, chegaríamos a 2050 com um nível de emissões de carbono de 43Gt.

Figura 7 – Cenários de Emissão de CO<sub>2</sub>

International Renewable Energy Agency, 2020

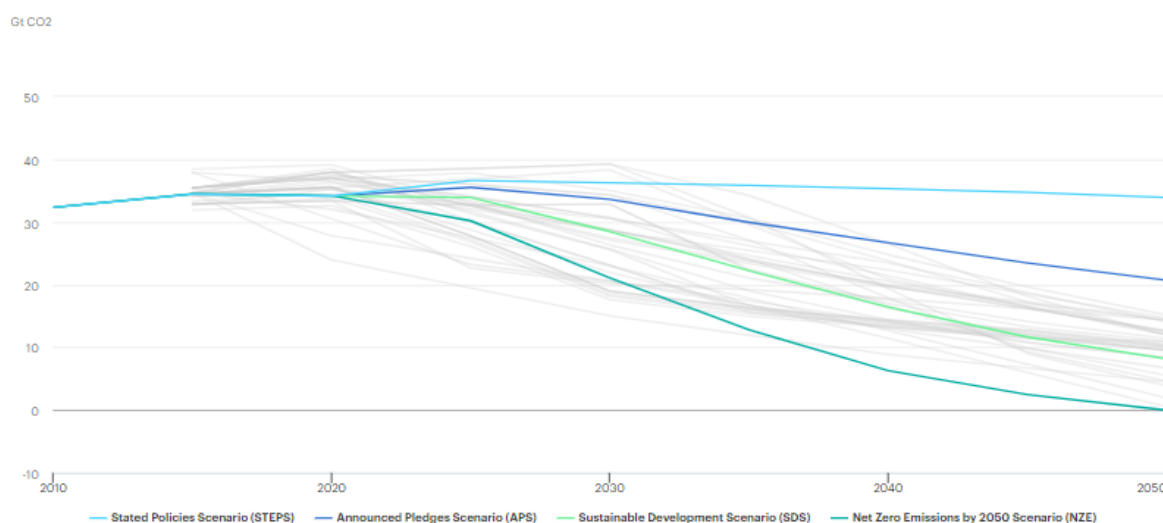
Sobre cenários de transição energética, a INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021b) mostra que existe uma tendência de 55% de queda no uso de carvão como fonte energética até 2030 quando se avalia um cenário chamado Net Zero Emissions (NZE), ou seja, cenário que busca zerar as emissões. Já no Stated Policies Scenario (STEPS), a queda nas emissões seria de apenas 5% até 2030, o que faz sentido uma vez que este é um cenário mais conservador afinal coloca que os governos não atingirão suas metas de emissões no prazo estipulado pelo Acordo de Paris. Finalmente, o Announced Pledges Scenario (APS) aponta para uma queda de emissões até 2030 de 10%.

Figura 8 – Quadro Comparativo de Cenário de Transição Energética

	Net Zero Emissions	Announced Policies Scenario	Stated Policies Scenario	Sustainable Development
Nível de Emissões até 2050 (Gt)	-	20Gt	34Gt	9,5Gt
Investimento anual em energia limpa (USD) T	4	1,1	-	-

Própria, 2021

Aprofundando nos cenários apresentados pela INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021c), existem quatro possíveis cenários de transição energética: Net Zero Emissions (NZE), Announced Policies Scenario (APS), Stated Policies Scenario (STEPS), Sustainable Development Scenario (SDS). O primeiro cenário, NZE, busca apresentar um cenário em que o setor de energia atinja zero emissões de CO até 2050. O APS é um cenário que assume que os países cumprirão com suas metas propostas no Acordo de Paris no prazo estipulado, chegando a longo prazo, no cenário de zero emissões de CO<sub>2</sub>. O STEPS no que lhe concerne busca apresentar um cenário em que há cumprimento das políticas atualmente propostas por setor, bem como, as políticas já anunciadas por governos pelo mundo. Por fim, o SDS é um cenário que objetiva atingir o acesso universal à energia, sendo essa energia sustentável, moderna, confiável e, sobretudo, acessível, indo de encontro às metas do Acordo de Paris.

Figura 9 – Emissões de CO<sub>2</sub> do setor de Energia - Cenários Comparativos até 2050

International Energy Agency, 2021

#### 4.1.2 Fatores que Influenciam na Transição Energética

Em todos os cenários de transição energética, a redução no mercado de carvão é colocada como certa, porém a velocidade com que isso ocorrerá ainda depende de todos os fatores abaixo listados.

Primeiramente, a pressão popular e as necessidades do planeta visando a sobrevivência são fatores que levam os governantes de países a se reunirem em conferências pelo clima nas quais metas com a finalidade de garantir a contenção de danos ao planeta são estabelecidas e, em consequência, o cumprimento dessas metas influencia em toda a cadeia relacionada a transição energética e a velocidade em que se reduz a demanda de carvão. Nesse ponto, deve-se colocar também que o não cumprimento dessas metas influencia igualmente na demanda de carvão. O Acordo de Paris se mostra inovador nesse sentido por dar a liberdade para que os Estados definam suas próprias metas, sendo, portanto, mais realista.

Em segundo lugar, pode-se elencar a alta necessidade de financiamento. Apesar de todos os cenários de transição energética apresentarem no longo prazo uma tendência ao lucro, o investimento necessário para tanto é extremamente alto e apenas é possível com a ação coordenada de Estados. Nesse sentido, segundo Parry (2019), as estratégias de precificação de carbono se apresentam como uma boa alternativa buscando viabilizar ações com impactos efetivos para redução de emissões.

Em terceiro, avanços tecnológicos são fatores contabilizados em qualquer cenário de transição energética. Segundo a INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020), apenas com o aumento da eletrificação, aumento da flexibilidade de fontes energéticas, aumento do uso de fontes renováveis de energia e aumento da eficiência energética principalmente conectada a combustíveis fósseis seria possível concretizar um cenário de transformação das matrizes energéticas e, dessa forma, minimizar os problemas climáticos no nível necessário.

Por fim, a viabilidade econômica de diferentes fontes energéticas é um dos fatores que influencia na transição energética. Este é um fator diretamente conectado aos avanços tecnológicos, mas, além disso, também é um fator relacionado a questões políticas, afinal o custo de fontes de energia pode ser subsidiado por governos a depender de estratégias políticas. Análises sobre a queda do uso de carvão nos Estados Unidos mostram que entre os principais fatores para tal queda estava o preço do gás natural. (WAMSTED; FEASTE; SCHLISSEL, 2019)

#### 4.1.3 Demanda de Carvão

Sobre a demanda de carvão futura, pode-se entender que, ao se projetar cenários de 30 anos, haverá um decréscimo devido sobretudo às metas climáticas definidas no Acordo de Paris, a

necessidade de redução de emissões de gás carbônico e a pressão popular visando a redução dos impactos devido às mudanças climáticas.

Ainda assim, segundo a INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021a), deve-se esperar um crescimento nos próximos anos, seja ele local ou global. Devido à pandemia da COVID-19, a produção industrial atingiu níveis abaixo do esperado para o ano de 2020, fazendo com que seja esperado uma recuperação em 2021, levando a níveis de produção de carvão superiores a 2019.

Anteriormente à pandemia, era visto um cenário de diminuição da produção, sobretudo nos Estados Unidos e União Europeia, dirigidos pela baixa do preço do gás natural, junto às políticas de diminuição de poluentes e até mesmo encarecimento da produção de carvão uma vez que suas plantas estavam ficando depreciadas. Além disso, a redução do preço de fontes renováveis de energia como solar e eólica também podem ser vistos como elementos que geraram esse movimento em tais regiões. (WAMSTED; FEASTE; SCHLISSEL, 2019)

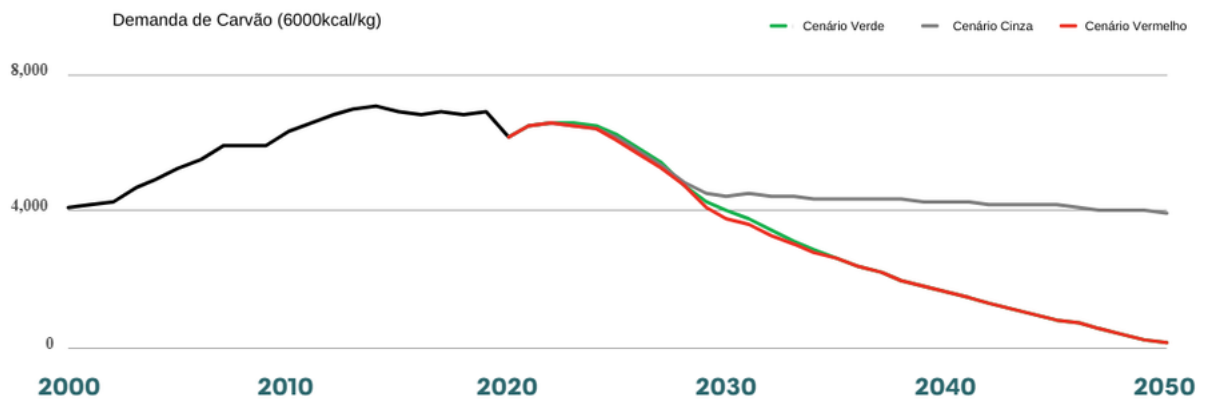
A China, maior consumidora de carvão mundialmente, com uma rápida recuperação e retomada da produção em 2020 foi responsável pelo menor impacto da pandemia no consumo de carvão, visto que localmente a sua demanda aumentou em 2020. É esperado que em 2021 o consumo de carvão chinês cresça 4%. Porém, em 2020, no anúncio do 14.º Plano Quinquenal Chinês — documento que norteia o desenvolvimento chinês — pode-se ver uma mudança de paradigma no país. Questões ambientais estarão no centro das pautas chinesas, o que leva à conclusão que pode-se esperar uma queda do consumo de carvão pela China nos próximos anos, inclusive a China já anunciou neutralidade de carbono até 2060. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020; UNGARETTI, 2021)

Por fim, deve-se entender os projetos de países em desenvolvimento, pois, em geral, esse crescimento se baseia em aumento industrial e, em consequência, aumento do consumo de carvão como fonte de energia. Segundo dados da INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021a), países que se enquadram nessas condições como a Índia, sofreram com o coronavírus e tiveram queda de consumo, porém é esperado um crescimento para os próximos anos no consumo de carvão.

Além disso, segundo a BLOOMBERG (2021), baseado em análises de cenários de uso de fontes energéticas nos próximos anos, é mais uma vez reafirmada a queda no consumo de carvão globalmente, tendo como prazo 2050. O estudo se baseia na construção de três cenários que atingem as metas do Acordo de Paris, porém com estratégias diferentes. No Green Scenario, o uso de energia elétrica junto a bioenergia e reciclagem é complementado pelo hidrogênio verde. Já no Gray Scenario, o uso de energia elétrica e renovável é complementado com captura e armazenamento de carbono. Por fim, no Red Scenario, destaca-se o uso de energia nuclear em complemento a energia eólica e solar. O resultado dessa análise sobre carvão pode ser visto na

figura 9.

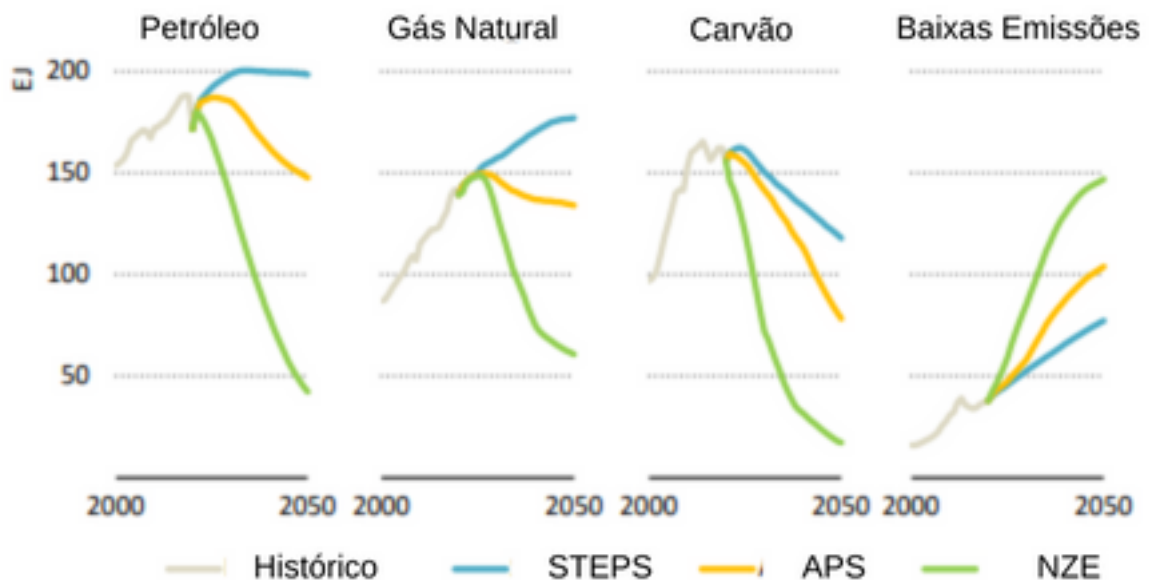
**Figura 10 – Projeção do uso de carvão até 2050**



Bloomberg, 2021

A análise de cenários da INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021c) aponta para uma queda no consumo de carvão em um horizonte até 2050. Quando comparado a outras fontes de combustíveis fósseis, o carvão se difere, afinal, para essas outras fontes como gás natural, não há necessariamente queda no consumo, mas, no caso do carvão, em todos os cenários é projetada queda. Na figura 10, pode-se observar as diferenças das projeções de consumo dessas fontes.

**Figura 11 – Projeção de Consumo de Combustíveis Fósseis**



International Energy Agency, 2021

## 4.2 Discussão

### 4.2.1 Cenários de Transição Energética

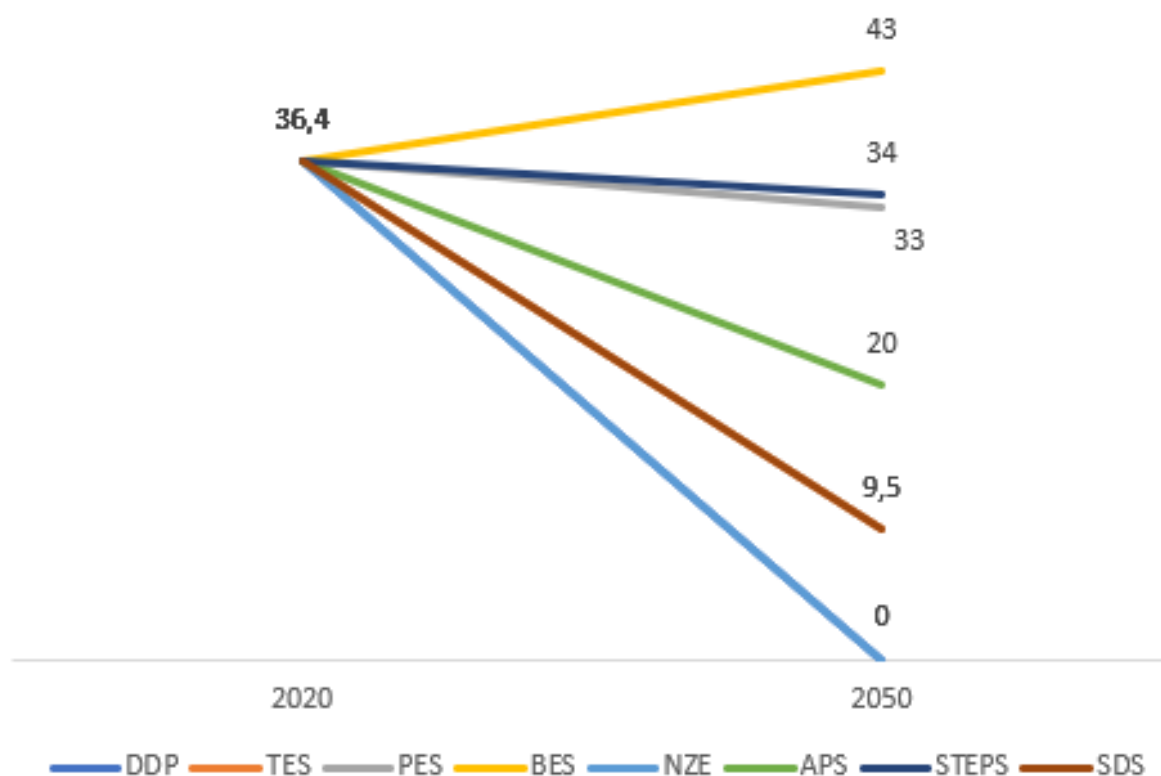
Os cenários de transição energética apresentados apesar de todos plausíveis apresentam uma grande dificuldade que é o cumprimento das metas estabelecidas, o mínimo para que sejam efetivos, isso para todos os cenários exceto o BES. Nesse sentido, pode-se haver uma reflexão de alcance das metas, porém, em diferentes perspectivas temporais, como foi o caso das metas colocadas no Protocolo de Kyoto que precisaram ter seu prazo modificado.

Um segundo ponto importante na análise dos cenários apresentados é a pressão popular em torno de questões ambientais. A pandemia do coronavírus além de ter parado o mundo, pode ser relacionada com os avanços dos impactos ambientais uma vez que o consumo desenfreado está relacionado a mudanças climáticas e expulsão de animais de seus habitats, levando estes para próximo das zonas urbanas e gerando contatos e mutações que dificilmente ocorreriam sem estas migrações. Antes mesmo da pandemia, manifestações mundiais pelo clima já estavam sendo realizadas e, após esse período de reflexão, essa é ainda uma questão em alta.

A pressão popular para o cumprimento de regras pode ser analisado por outra perspectiva também, cada vez mais, cresce o número de empresas com cadeias de produção chamadas responsáveis, a população tem se preocupado na forma como seu produto é criado e nos impactos que ele gera, criando assim uma tendência de modificação do consumo. Os chamados títulos verdes são um exemplo que mostra a aceleração dessa tendência, influenciando na receita de empresas e na forma como a produção é realizada.

A geopolítica mundial também é fundamental para a realização dos cenários de transição energética colocados, uma vez que além de influenciar internamente no policiamento e cumprimento de metas, ele pauta a cooperação entre países, fator crítico no atingimento da temperatura global e consequentemente na realização da transição energética.

A partir da análise da figura 12, pode-se perceber as diferenças entre os cenários apresentados neste estudo em relação às emissões de gás carbônico em 2050.

**Figura 12 – Comparativo de Cenários de Emissão de CO2 em Gt entre 2020 e 2050**

Própria (2021)

#### 4.2.2 Fatores que Influenciam na Transição Energética

Dentre todos os fatores apresentados, o cumprimento das metas é o mais crucial de todos é fundamental para a sobrevivência do planeta, ainda assim, deve-se ressaltar que o cumprimento de metas relativas ao Acordo de Paris pode ser de grande dificuldade, pois necessita de uma mudança na forma de produção e de consumo para ser possível, o que em outras palavras, significa que deve-se mudar a mentalidade de toda uma população já acostumada e criada em um sistema de consumo em massa. Para tanto, governos devem criar projetos inovadores de incentivo e conscientização sobre a forma de consumo.

Em segundo lugar, a alta necessidade de investimento a nível global faz com que a cooperação seja fundamental para se realizar qualquer categoria de transição energética. Dessa forma, pensando em evitar as mudanças climáticas, países com maiores recursos devem cooperar para que países com menos recursos consigam cumprir com suas metas, tornando a transição energética uma realidade também nesses países. Nesse sentido, essa seria uma ação inovadora no contexto mundial.(PARRY, 2019)

A alta necessidade de inovações tecnológicas seja para viabilizar o uso em alta escala de fontes

renováveis de energia ou para aumentar a eficiência de combustíveis fósseis é um fator esperado, mas incerto: não é possível colocar um prazo para a ciência, porém com investimentos adequados pode-se esperar avanços nesse quesito. Ainda assim, é uma questão difícil de ser projetada por ser extremamente incerta.

Para se atingir as metas de diminuição da temperatura global, deve-se haver uma aceleração do uso de energias renováveis. Nos últimos 7 anos, foi possível se ter uma transformação que reduz o uso de combustíveis fósseis e nuclear e aumenta a participação de renováveis. Inclusive, 90% das soluções para se chegar a redução em 2.º da temperatura global passa pela eletrificação, combinada ao aumento da eficiência energética, o uso de hidrogênio verde e bioenergia, além da captura e armazenamento de carbono. Ademais, é fundamental que haja medidas de policiamento e medição das metas relativas a esse tópico. (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2021)

#### 4.2.3 Demanda de Carvão

Sobre a demanda de carvão faz-se necessário uma análise cuidadosa de como se dará a retomada da indústria nesse período de recuperação pós pandemia. Essa retomada teve início em algumas regiões como na China e na União Europeia posteriormente.

Entretanto, apesar de uma tendência de crescimento da produção de carvão no curto prazo, deve-se atentar mais uma vez ao cumprimento dos planos de governos para que a tendência de decréscimo seja concretizada.

No caso da China especificamente, o 14.º Plano Quinquenal traz a meta de redução das emissões até 2060, porém, em todo o documento essa meta é trazida apenas uma vez, além de não apresentar de forma explícita como se dará essa redução. Para um país que tem o consumo de carvão na base da sua matriz energética, essa não será uma meta fácil de ser alcançada.

Em relação à União Europeia e aos Estados Unidos, já havia uma redução do uso de carvão mineral anterior à desaceleração da indústria relacionada à pandemia em 2020, sendo a principal razão dessa desaceleração uma combinação entre metas ambientais com a possibilidade de troca do carvão por outras fontes energéticas, sobretudo o gás natural. Sendo assim, é provável que o movimento de redução do uso de combustíveis fósseis seja concretizado nessas regiões.

## 5 Conclusão

Os cenários de transição energética podem variar muito em relação a impactos ambientais, tecnologia e investimento necessário. Pode-se identificar a diminuição das mudanças climáticas como principal motivador de se realizar a transição energética, esta que no que lhe concerne leva a discussões sobre mudanças na forma de produção e consumo.

Para se realizar a transição energética é necessário a ação coordenada e conjunta de todos os países, afinal os investimentos são muito altos e, para se ter uma redução de impactos efetiva, deve haver cooperação entre países. Nesse sentido, em diversos momentos da história recente houve a tentativa de encontros mundiais e conferências que visavam a discussão e a criação de metas com intenção de reduzir as mudanças climáticas. O Acordo de Paris é a mais recente tentativa de coordenar as ações visando à diminuição da temperatura do planeta em 2°C. Esse acordo se mostra mais promissor do que outros devido a forma como as metas foram construídas, nele cada país é responsável por criar suas próprias metas de acordo com sua realidade local, tornando assim o cumprimento das metas mais plausível. Vale ressaltar que diferentes países tiveram diferentes níveis de emissões acumuladas no tempo, de forma que possuem diferentes responsabilidades, porém os impactos ambientais podem afetar quaisquer países.

O cumprimento de metas de acordos mundiais historicamente é um grande desafio. O Protocolo de Kyoto, por exemplo, precisou ter sua data limite postergada e, em outros momentos, a economia e desenvolvimento de certos países foram colocados à frente das questões climáticas, de forma que muitos países nem ao menos aderiram a antigos acordos. Sendo esse, portanto, o principal desafio a ser cumprido para que cenários de transição energética que sejam efetivos quanto a redução das mudanças climáticas sejam possíveis.

A forma como a transição energética se dará é fundamental para a compreensão do mercado de carvão no futuro. Conforme as necessidades do planeta, as metas de redução de emissão de carbono se mostram fundamentais, levando a conclusão que haverá uma redução da demanda de carvão em um cenário futuro. Ainda assim, não é possível projetar com precisão quando se dará essa redução e até mesmo cessação, afinal os fatores que guiam as transições energéticas são diversos.

Pode-se declarar que o custo relativo de outras fontes energéticas assim como suas eficiências energéticas como fatores importantes nessa definição. O desenvolvimento de tecnologias também se apresenta como motivador da redução do uso de combustíveis fósseis, seja por ser aplicado em fontes renováveis, seja por melhorar a eficiência de energia advinda do carvão. O envelhecimento de plantas de carvão em cenários de pressão de redução do uso desse tipo de combustível também é fator relevante no entendimento da demanda de carvão, pois aumenta os custos relativos à

produção.

Porém, deve-se considerar também que atualmente existe uma forte dependência no consumo de carvão como fonte energética devido às plantas já instaladas e ao baixo custo benefício, sobretudo quando observado sob um viés econômico. O carvão continua a ser responsável por mais de um quarto da produção mundial de energia, sendo sua substituição demasiada custosa, podendo colocar esta como uma das principais razões que dificultam a realização de uma transição energética para o alcance de redução de emissões de gás carbônico e outros poluentes.

Ao se considerar a transição energética, os desafios não se limitam apenas a mudança nas fontes energéticas, mas também ao atingimento de um nível tecnológico em certa velocidade que permita que a transição energética seja realizada a tempo de evitar colapsos climáticos. Outro grande desafio colocado pelo Acordo de Paris, é o acesso universal a energia de forma acessível, limpa e confiável. Atingir cenários de transição energética significa ganhos não apenas ambientais, mas de desenvolvimento e saúde.

Por fim, o mercado de carbono pode-se apresentar como um dos mais importantes movimentos no sentido de equilíbrio climático e, portanto, da redução da demanda de carvão. Esse fator se mostra interessante por, além de incentivar a redução de emissões, também pode gerar um retorno financeiro alto e rápido para governos.

## Referências

- BALDUINO, M. C. de J. M. O ACORDO DE PARIS E A MUDANÇA PARADIGMÁTICA DE APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA RESPONSABILIDADE COMUM, PORÉM DIFERENCIADA. **REVISTA DIGITAL CONSTITUIÇÃO E GARANTIA DE DIREITOS**, v. 13, n. 1, p. 172 – 188, janeiro 2020.
- BESCHLOSS, A.; MASHAYEKHI, M. A Greener Future for Finance. **Finance and Development**, v. 56, n. 4, p. 60 – 61, Dezembro 2019. Acesso em: 24/09/2021.
- BEYER, R. M.; MANICA, A.; MORA, C. Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2. **Science of The Total Environment**, v. 767, n. 145413, p. 1 – 5, Maio 2021. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721004812>. Acesso em: 20/12/2021.
- BLOOMBERG. **New Energy Outlook 2021**. 2021. Disponível em: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#download>. Acesso em: 18/11/2021.
- EVANS, S. **Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?** 2021. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>. Acesso em: 07/10/2021.
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 7 – 15, jan 2011. Acesso em: 20/09/2021.
- GRIPPA, P.; SCHMITTMANN, J.; SUNTHEIM, F. Climate Change and Financial Risk. **Finance and Development**, v. 56, n. 4, p. 26 – 29, Dezembro 2019. Acesso em: 23/09/2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook**. 2015. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2015>. Acesso em: 30/07/2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Acesso em: 01/10/2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review**. 2021a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 20/09/2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Phasing Out Coal**. 2021b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/phasing-out-coal>. Acesso em: 03/11/2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2021**. 2021c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Acesso em: 02/11/2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **GLOBAL RENEWABLES OUTLOOK**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>. Acesso em: 03/10/2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **World Energy Transitions Outlook: 1,5°C Pathway**. 2021. Disponível em: <https://irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>. Acesso em: 09/11/2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Brasil. Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**, Rio de Janeiro, p. 1 – 186, 2018. Acesso em: 07/05/21.

OECD. **Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences**. 2019. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060\\_9789264307452-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en). Acesso em: 03/10/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Acordo de Paris. **Acordo de Paris**, Paris, p. 1 – 13, 2015.

PARRY, I. Putting a Price on Pollution. **Finance and Development**, v. 56, n. 4, p. 16 – 19, Dezembro 2019. Acesso em: 23/09/2021.

SOARES, K. **Carvão mineral: o impacto na indústria e na sociedade**. 2018. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/carvao-mineral-impacto-na-industria-e-na-sociedade/#:~:text=A%20queima%20de%20carv%C3%A3o%20para,contribuindo%20para%20a%20chuva%20%C3%A1cida>. Acesso em: 05/08/2021.

SOUZA, A. L. R.; ANDRADE, J. C. S. de. ANÁLISE DO MERCADO DE CARBONO VOLUNTÁRIO NO BRASIL: UM ESTUDO SOBRE O PERFIL DOS PROJETOS DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE). **RMS – Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 53 – 75, jan 2014.

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**, v. 42, n. 1, p. 52 – 80, dezembro 2017. Acesso em: 21/09/21.

UNGARETTI, C. R. **O 14º Plano Quinquenal (2021-2025) da China em Perspectiva Doméstica e Internacional: Economia, inovação e meio-ambiente**. 2021. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/nebrics/o-14o-plano-quinquenal-2021-2025-da-china-em-perspectiva-domestica-e-internacional-economia-inovacao-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 01/10/21.

VIEIRA, J. P. B.; HENRIQUE, M. **Acordo de Paris: o que é?** 2021. Disponível em: <https://www.politize.com.br/acordo-de-paris/>.

WAMSTED, D.; FEASTE, S.; SCHLISSEL, D. **Coal Outlook 2019**. 2019. Disponível em: [https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/03/Coal-Outlook-2019\\_March-2019.pdf](https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/03/Coal-Outlook-2019_March-2019.pdf). Acesso em: 01/05/2021.