



**UNIVERSIDADE VEIGA DE ALMEIDA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**FIM DA ECONOMIA BASEADA NA ENERGIA DO PETRÓLEO E O
POTENCIAL DO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE**

Caroline Araújo Pinto da Silva

Rio de Janeiro – RJ
2021

CAROLINE ARAÚJO PINTO DA SILVA

**FIM DA ECONOMIA BASEADA NA ENERGIA DO PETRÓLEO E O
POTENCIAL DO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia do curso de graduação em Ciências Econômicas da Universidade Veiga de Almeida.

ORIENTADOR: Prof. Rogério Bailly

Rio de Janeiro – RJ
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por apostarem em mim, e me proporcionarem a educação que tanto valorizo. Que saibam, que as oportunidades que estou tendo e as próximas que terei, sempre serão em agradecimento a vocês.

A minha irmã pela escuta ativa, que abriu minha mente e me possibilitou a criação deste trabalho.

A minha sobrinha que sem saber tornou cada momento difícil e estressante mais leves.

Aos meus avós que estão sempre torcendo pela minha vitória.

Por fim, ao meu orientador, Professor Rogério Bailly que esteve disponível em cada etapa, e por me motivar a continuar, agradeço imensamente pela ajuda neste projeto.

“A idade da pedra chegou ao fim, não porque faltassem pedras, a era do petróleo chegará igualmente ao fim, mas não por falta de petróleo.” (HUBERTS, 1999)

RESUMO

Devido a grandes impactos sociais, ambientais e econômicos associados a vasta utilização do petróleo como uma energia não renovável, surgiu a necessidade de adotar uma energia alternativa que cause menos impactos e que possa diversificar a economia. O conceito de Economia Verde surge como uma opção para diminuir os efeitos das mudanças climáticas, permitir a preservação ambiental, aliado a um crescimento econômico com justiça social. O objetivo deste trabalho é identificar uma alternativa renovável que possa atender a sociedade de forma a eliminar impactos causados pelos meios atuais de obtenção de energia, e verificar como o Brasil pode ser referencia neste setor. Após estudos e análises de dados, é possível identificar que existe uma alternativa não nociva ao meio ambiente, que pode abastecer uma demanda crescente da sociedade por energia e ainda eliminar os danos sociais causados pela posse de reservas de petróleo.

PALAVRAS-CHAVES: Hidrogênio, Petróleo, Economia Verde, Energia

ABSTRACT

Due to the large social, environmental and economic impacts associated with the vast use of oil as a non-renewable energy, the need arose to adopt an alternative energy that cause less impacts and can diversify the economy. The concept of Green Economy appears as na option to reduce the effects of climate change, allowing for environmental preservation, combining economic growth with social justice. The objective of this work is to identify a renewable alternative that can serve society in order to eliminate impacts caused by the current means of obtaining energy, and to see how Brazil can be a reference in this sector. After studies and data analysis, it is possible to identify that there is na alternative that is not harmful to the environment, which can supply society's growing demand for energy and also eliminate the social harm caused by the possession of oil reserves.

KEYWORDS: Hydrogen, Oil, Green Economy, Energy

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Consumo de energia primária em todo o mundo em 2019 e 2020, por tipo de combustível
- Figura 2** – Maiores reservas provadas de petróleo em 2020
- Figura 3** – Recursos Energéticos
- Figura 4** – Consumo mundial de petróleo de 1998 a 2020
- Figura 5** – Maiores consumidores de petróleo e LGN em 2020
- Figura 6** – A produção de petróleo está caindo na Venezuela
- Figura 7** – Participação da OPEP nas reservas mundiais de petróleo bruto
- Figura 8** – Emissão global de CO₂ e Temperatura global: 1880-2018
- Figura 9** – Produção do hidrogênio a partir de fontes de obtenção e seus processos
- Figura 10** – Levantamento de preços do hidrogênio no mercado da Califórnia, Estados Unidos, por processo de produção, no primeiro trimestre de 2020
- Figura 11** - Emissões de Gases do Efeito Estufa por setor, Mundo

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Guerras Civis, 1960-2006

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVO.....	10
2.1 Objetivo geral.....	10
2.2 Objetivo específico.....	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 Petróleo, como se tornou fonte de energia.....	11
3.1.1 Importância do petróleo: econômica e vida.....	11
3.1.2 O mercado de energia do petróleo.....	12
3.2 Problemas ligados ao uso do petróleo.....	13
3.2.1 Escassez, reservas finitas e valor.....	14
3.2.2 Geopolítica do petróleo.....	15
3.2.2.1 Países detentores de petróleo e suas reservas	16
3.2.2.2 Relação entre países e OPEP.....	21
3.2.2.3 Problemas sociais: corrupção e conflitos.....	22
3.2.3 Ambiental.....	25
3.2.3.1 Aquecimento global, queima de combustíveis fósseis	26
3.2.3.2 Vazamento.....	27
3.3 Economia verde.....	28
3.3.1 Importância para a sociedade.....	28
3.3.2 Coronavírus e a economia verde.....	29
3.4 Fonte alternativa de energia.....	30
3.4.1 Mercados em que o petróleo pode ser substituído.....	30
3.5 Hidrogênio.....	31
3.5.1 Tipos de hidrogênio.....	32
3.5.2 Como obter energia do hidrogênio.....	33
3.5.3 O mercado de hidrogênio verde	35
3.5.3.1 Âmbito internacional.....	37
3.5.3.2 Âmbito nacional.....	38
3.5.4 Problemas atuais na implementação do hidrogênio.....	39
3.6 Benéficos ligados ao hidrogênio.....	40
3.6.1 Descarbonização.....	40
3.6.2 Aumento da cooperação internacional.....	40
3.6.3 Diversificação do mercado mundial.....	41
3.8 Como transformar o potencial brasileiro em um mercado.....	41
4. METODOLOGIA.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 O petróleo deve ser substituído.....	44
5.2 O melhor substituto: hidrogênio verde.....	44
5.3 O destaque do Brasil no mercado de hidrogênio.....	45
5.4 Precisa de mais investimento em alternativas verde.....	45

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma substância oleosa, altamente inflamável e de coloração escura, de origem fóssil, denominação dada a um grupo de combustíveis não renováveis, formados há milhares de anos a partir de restos de animais e vegetais. Esta substância corresponde a mais importante fonte de energia utilizada na atualidade, atuando em diversos setores da economia: no setor automotivo como gasolina e óleo diesel, em usinas termelétricas sendo queimado e transformado em energia, e como matéria prima para a fabricação de produtos como plástico, tinta, borracha sintética, entre outros.

Sendo um combustível não renovável sua utilização depende exclusivamente das reservas conhecidas e finitas existentes no mundo, uma vez que é um recurso esgotável. Mas a maioria das reservas se concentra em determinados países. Devido a importância vital de tal substância para o abastecimento energético mundial, o que garante o funcionamento das sociedades, esta matéria prima acaba por se tornar um recurso natural estratégico. O que significa que, além da fonte de renda advinda deste recurso, o país detentor de poços de petróleo ganha influência nos preços e no setor. Um exemplo é a região do Oriente Médio, detentora de grande parcela de reservas mundiais, e por isso, inúmeros conflitos geopolíticos ocorreram e ainda ocorrem, como a Crise do Petróleo em 1973 e 1979, onde os preços do barril de petróleo subiram drasticamente. Conforme Ross (2015, p. 20): “A região detém mais da metade das reservas comprovadas de petróleo do mundo, mas fica muito atrás no progresso rumo à democracia, à igualdade entre os gêneros e às reformas econômicas”.

Apesar das vantagens associadas a este recurso natural, no âmbito econômico e energético, tal fonte de energia é escassa e finita, o que associa este recurso a conflitos. O petróleo ainda afeta a esfera ambiental, pois é um dos maiores responsáveis pela poluição mundial e desastres ambientais, como derramamento, que leva a extinção das espécies, e liberação de carbono, que em sua queima contribui para o aquecimento global. Quando liberado no meio ambiente, por acidentes com navios-petroleiros, acidentes em plataformas de petróleo ou no lançamento de água utilizada na lavagem de tanques onde o petróleo é armazenado, uma reação em cadeia acontece, onde o ecossistema é afetado e a vida existente é prejudicada, chegando ao litoral pode ainda afetar a economia local. Já a queima de combustíveis fósseis gera gases poluentes como o Dióxido de Carbono (CO₂), um dos gases responsáveis pelo efeito estufa.

A temática do aquecimento global tem impactos em governos, empresas e na sociedade como um todo, sendo um assunto extremamente complexo, uma vez que implica em mudanças. Todos os problemas climáticos e sociais provocados pelo aquecimento global levam a debates sobre a sustentabilidade e a possibilidade de controlar estas mudanças para as futuras gerações. “Tornou-se claro para a Humanidade que mudanças significativas e mesmo radicais seriam necessárias para que as conquistas econômicas e sociais obtidas até então não fossem anuladas pelos impactos ambientais negativos produzidos pelos modelos de desenvolvimento utilizados” (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012, P.100).

A sustentabilidade é baseada em três princípios: social, ambiental e econômico, onde estes três fatores precisam estar integrados, representando, portanto, um processo. As mudanças climáticas são atualmente o maior desafio ecológico, passando a se tornar uma preocupação social, e por isso, entra em vigor o Acordo de Paris, tratado mundial discutido por 195 países que tem por objetivo reduzir as emissões de gases do efeito estufa para limitar o aumento médio da temperatura global a 2°C. Este compromisso internacional foi aprovado em 12 de dezembro de 2015, e substituiu em 2020 o Protocolo de Kyoto, e passou a contar com 194 países signatários, sem a presença dos Estados Unidos.

O processo de descarbonização, redução das emissões de carbono na atmosfera, tem por objetivo alcançar uma economia global com emissões reduzidas para conseguir a neutralidade climática através da transição energética. Esta transição exige uma mudança estrutural que elimine o carbono da geração de energia, e para tal, a adoção de energias alternativas limpas que emitam apenas o que o planeta pode absorver. Neste cenário o mercado de hidrogênio verde ganha destaque, pois é uma tecnologia baseada na geração de hidrogênio, um combustível universal, leve e altamente reativo, por meio de um processo químico conhecido como eletrólise. Como afirmado no Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento na sua Avaliação Mundial de Energia:

A energia é essencial para que se atinjam os objetivos econômicos, sociais e ambientais inter-relacionados do desenvolvimento sustentável. Mas para alcançar essa importante meta, os tipos de energia que produzimos e as formas como os utilizamos terão que mudar. Do contrário, os danos ao meio ambiente ocorrerão mais rapidamente, a desigualdade aumentará e o crescimento econômico global será prejudicado.

A produção de hidrogênio verde permite a diminuição das emissões de poluentes derivados de combustíveis fósseis e a preservação da camada de ozônio, esta alternativa além de proporcionar um maior controle sobre o aquecimento global também permite a inovação no

setor energético, que tem uma grande demanda mundial. A previsão para esta fonte de energia é que sua utilização possa se estender às vias de mobilidade elétrica, como ônibus, táxis e veículos de passeios, até a geração de energia elétrica em residências e indústrias. Este mercado já é relevante em termos econômicos, e espera-se ainda um crescimento significativo nos próximos anos. O maior objetivo com tal energia é atingir um futuro onde o aquecimento global, mudanças climáticas e conflitos geopolíticos possam ser amenizados. E neste cenário o Brasil tem grande potencial para ser líder de mercado, uma vez que tem abundância de recursos naturais, fator que facilita o avanço dessa produção.

O trabalho a seguir abordará o hidrogênio verde como a fonte de energia renovável e limpa com potencial de substituição do petróleo. A "Energia do Hidrogênio" ainda se encontra em fase de consolidação, portanto este trabalho terá por objetivo apresentar conceitos que envolvem esta tecnologia, bem como em que estágio de desenvolvimento este mercado se encontra, além de expor as razões para tal substituição e as vantagens desta adoção.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho terá as seguintes finalidades.

2.1 Objetivo geral

Analisar o fato da substituição do petróleo. Se no mundo seria possível uma alternativa sustentável e viável com os recursos disponíveis hoje.

2.2 Objetivo específico

- a) Explicar o porquê é necessária essa substituição e qual a alternativa ideal.
- b) Discutir o porquê o Brasil seria um mercado promissor no setor de energia sustentável.

3. REFERENCIAL TEORICO

Neste trabalho será apresentado um levantamento bibliográfico sobre os assuntos ligados ao tema, para proporcionar uma melhor compreensão sobre a importância da utilização de fontes de energias renováveis e a substituição do petróleo, levando a um desenvolvimento sustentável.

3.1 Petróleo, como se tornou fonte de energia

O Petróleo surgiu como restos de matéria orgânica, bactérias, produtos nitrogenados e sulfurados, sendo consequência da transformação dessa matéria orgânica acumulada no fundo dos oceanos e mares, que sofreu transformações químicas durante milhões de anos, sob pressão das camadas de sedimentos, que foram se depositando e formando rochas sedimentares. Tal matéria prima é composta em sua maioria por moléculas de carbono e hidrogênio, conhecidas como hidrocarbonetos.

Seu descobrimento remonta aos primórdios da humanidade. Mas passou a ser utilizado em grande escala após a Segunda Revolução Industrial, com a invenção do motor a combustão, pois até então era utilizado apenas como combustível para lamparinas a óleo. Neste período o mundo começa a demandar luz e energia, o que desencadeou mudanças técnicas no fornecimento de energia, permitindo que recursos fossem aprimorados e a transmissão de energia fosse levada a localidades mais distantes.

Passou então, a ser produzido em escala comercial com o primeiro poço de petróleo descoberto na Pensilvânia em 1859, e a partir daí foi empregado como fonte de energia e combustível para os meios de transporte e como matéria prima. Devido à sua facilidade de produção, transporte e uso, ele substituiu o carvão, tornando-se o insumo-chave do desenvolvimento do século XX e, possivelmente, das primeiras décadas do século XXI (CAMPOS; 2014).

3.1.1 Importância do petróleo: econômica e vida

Corresponde a mais importante fonte de energia mundial, segundo relatório da empresa British Petroleum em sua Revisão Estatística da Energia Global de 2020, aproximadamente 84% do consumo de energia mundial é abastecido por combustíveis fósseis, com o petróleo sendo responsável por 33,05% do consumo em 2019. No entanto, tal relevância não está apenas no setor energético, sendo também peça chave na produção de plástico, asfalto, medicamentos, cosméticos, entre outros.

O setor de petróleo e gás corresponde a uma das mais importantes indústrias mundiais, pois é responsável por abastecer a principal matriz energética global, contribuir para a geração de divisas com sua exportação, gerar empregos de alta qualificação e produtividade, além de

atuar como arrecadação de tributos. Por estes motivos, é um setor atuante na manutenção e bom funcionamento das sociedades.

A indústria do petróleo é a maior do mundo. Em 2009, US\$2,3 trilhões de petróleo e gás natural foram bombeados para fora do solo. O petróleo e seus subprodutos respondem por 14,2% do comércio de commodities do mundo (ROSS; 2015).

3.1.2 O mercado de energia do petróleo

Segundo dados da empresa Alemã, Statista, especializada em dados de mercado e consumidores, o petróleo é o combustível de energia primária mais consumido no mundo. Como mostra a figura 1, em 2020, foram consumidos cerca de 174 exajoule de petróleo, o que representa uma redução notável em comparação com o ano anterior, sendo consequência da pandemia de coronavírus e os impactos na demanda de combustível para transporte, no entanto, mesmo com esta redução permanece sendo a fonte de energia mais utilizada no mundo.

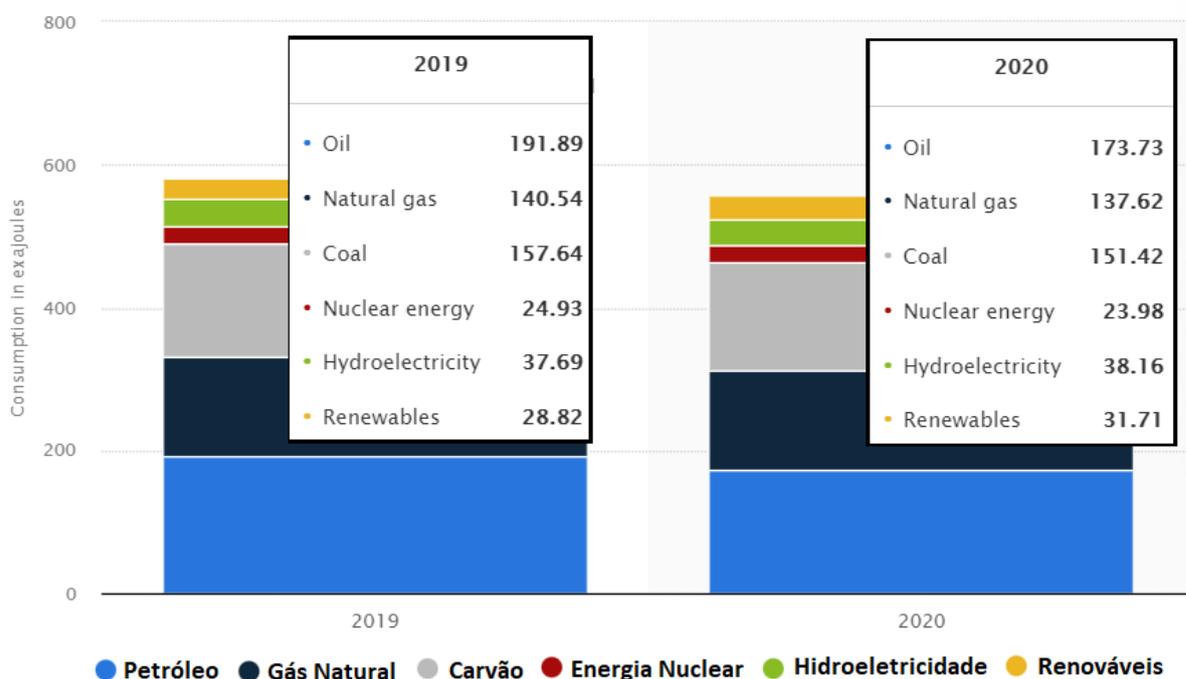


Figura 1 - Consumo de energia primária em todo o mundo em 2019 e 2020, por tipo de combustível
Fonte: Statista, 2021

Em análise José Goldemberg (2017; p. 5) afirma:

Desde o início da Revolução Industrial, no século XIX, a produção e o uso de energia se tornaram uma das principais atividades econômicas dos países. O consumo total de energia hoje (cerca de 12 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo) é 200 vezes maior do que era há 500 anos. Produzir essa energia forçou a utilização em grande escala de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), que dominam ainda a matriz energética mundial.

O mercado do petróleo apresenta duas especificidades que o tornam único no mundo: é um produto composto e sua demanda é derivada. Isto é, sendo um produto composto, sua produção está associada ao gás natural, este gás pode ser encontrado em reservatório geológicos dissolvido no petróleo ou sob a forma de uma capa de gás. Neste caso o objetivo será a produção inicial do óleo, e utiliza-se o gás para manter a pressão do reservatório, desta forma geralmente é utilizado na geração de energia termelétrica e nos segmentos industriais. Dados do Banco Mundial mostram que a queima do gás associado à extração de petróleo aumentou no último ano para o maior nível em mais de uma década, de 145 milhões de metros cúbicos em 2018 para 150 bilhões de 2019, um crescimento de 3%.

Além de ser um produto composto, sua demanda é derivada, tal demanda ocorre quando a demanda por um recurso ou bem intermediário é decorrente da demanda pelo bem ou serviço final. Geralmente, a demanda não é pelo petróleo, mas por seus derivados, como gasolina, querosene, diesel e plásticos. Apesar da predominância no setor de transportes, os derivados do petróleo também são responsáveis pela geração de energia elétrica no mundo. Esses derivados constituem a matriz energética de países como Estados Unidos, Japão, México, Arábia Saudita, entre outros.

É importante destacar que a matriz energética e um balanço energético consolidado são fundamentais na construção de cenários e de estratégias energéticas como instrumento do desenvolvimento, ou seja, do planejamento energético em um contexto que engloba aspectos energéticos, socioeconômicos e ambientais. (MOREIRA; 2019)

3.2 Problemas ligados ao uso do petróleo

Apesar de sua utilização em diversos setores facilitar o bem estar social e propiciar desenvolvimento econômico para alguns países, o petróleo tem diversos pontos negativos que pesam contra sua utilização.

- **Escassez:** quando o tempo de reposição demora muito mais que a taxa de utilização, como ocorre com o petróleo, que só estará disponível novamente em alguns milhões de

anos, o recurso é considerado não renovável (REIS; PHILIPPI; 2016). Em se tratando de um recurso natural não renovável, a energia advinda desta fonte vai acabar, por isso se faz necessária alternativas que possam atender à demanda mundial crescente.

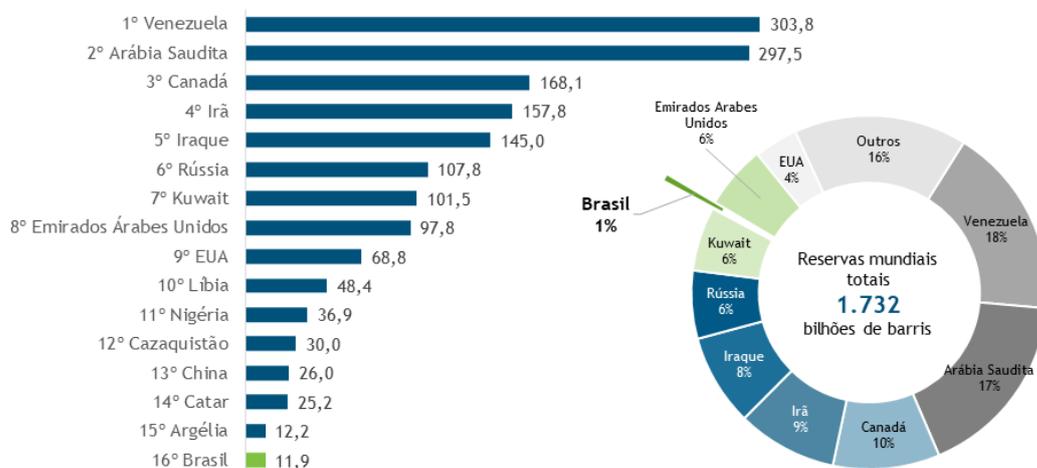
- **Conflitos:** sendo um recurso escasso e com atuação em diversos setores, o petróleo é extremamente precioso e lucrativo. Portanto, é um recurso natural estratégico, que confere ao país detentor de reservas poder de influenciar os preços e o setor. Segundo Campos (2014; p. 27) “No início do século XXI, o "ouro negro" ainda é o tema central devido às incertezas provenientes dos conflitos das regiões produtoras, ao aumento do consumo proveniente dos países em desenvolvimento (principalmente China e Índia), à estabilidade da oferta das regiões não OPEP e da constante dependência da produção do Oriente Médio (2/3 das reservas mundiais provadas).”
- **Ambiental:** a utilização do petróleo como fonte de energia está ligada a fortes impactos ambientais, como: mudanças climáticas, aquecimento global, degradação marinha e costeira, poluição do ar urbanos, entre outros. Mesmo com o potencial energético do petróleo, as consequências ambientais de tal energia são imensas, por isso “apesar de ser um recurso natural abundante, a extração de petróleo tem custo elevado e é uma atividade extremamente complexa.” (REIS; PHILIPPI, 2016, p. 51).

3.2.1 Escassez, reservas finitas e valor

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, em 2020, como mostrado na figura 2, as reservas mundiais correspondem a 1.732 bilhões de barris, e desse total de reservas conhecidas 18% pertencem a Venezuela, país com a maior reserva comprovada de petróleo, seguido por Arábia Saudita com 17% e Canadá com 10%, o Brasil tem 1% das reservas mundiais, ocupando a 16ª posição no ranking.

Maiores reservas provadas de petróleo em 2020

Bilhão de barris



Atualização - Julho 2021
Fonte: Elaboração IBP com dados BP

Figura 2 – Maiores reservas provadas de petróleo em 2020

Fonte: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás com base nos dados da British Petroleum, 2021

Em um estudo publicado pela British Petroleum demonstrou que as reservas de petróleo no mundo podem acabar em 2067, tal estudo não leva em consideração possíveis descobertas de novas reservas no futuro, uma vez que não há como prever este fato. As pesquisas da companhia preveem que 1,687 trilhões de barris serão consumidos, e que as últimas reservas a se esgotarem seriam as localizadas na Venezuela e na Rússia.

Desde que o primeiro poço de petróleo foi descoberto na Pensilvânia em 1859, a demanda mundial de petróleo nunca deixou de crescer, em se tratando um recurso limitado e com alta taxa de consumo, tal recurso não consegue se regenerar antes de que a sociedade demande mais desta matéria prima. O petróleo tem impulsionado a economia mundial, sendo a fonte de energia mais utilizada a mais de 150 anos. Por tais motivos, o maior questionamento quando o assunto é o petróleo, é quando os poços existentes vão se esgotar?

Este questionamento leva a outros pontos, como quando o consumo de petróleo vai chegar a seu pico, e então, entrar em declínio permanente. O pico do petróleo é o ponto a partir do qual a produção mundial deixará de crescer após ter alcançado a sua máxima, e começar a diminuir, sem que se pare de produzir petróleo, mas vá diminuindo a quantidade a cada ano, o que o tornará mais raro e mais caro, visto seu esgotamento. A existência do fenômeno de esgotamento da reserva se reflete na escassez da oferta ao longo do tempo, resultando na

redução da procura, visto que o preço do recurso cresce no ritmo da taxa de juros. No ponto de esgotamento, o preço do recurso é máximo e a procura cessa totalmente (MAY; 2021).

A teoria do pico do petróleo foi apresentada em 1956 pelo geólogo norte americano Marion King Hubbert, que trabalhava para a Shell e estudava a extração de petróleo dos poços e campos petrolíferos. Segundo suas observações, a quantidade extraída de cada poço e campo seguia o mesmo padrão, no início a extração é reduzida, mas vai aumentando rapidamente até atingir um máximo, onde estabiliza durante algum tempo e em seguida entra em uma fase onde a quantidade extraída começa a decair até deixar de ser economicamente viável. A figura 3 mostra o pico do petróleo, que segundo Hubbert ao se somar a produção dos poços de petróleo, verificou que obtinha uma curva global simétrica e com uma forma aproximada de um sino.

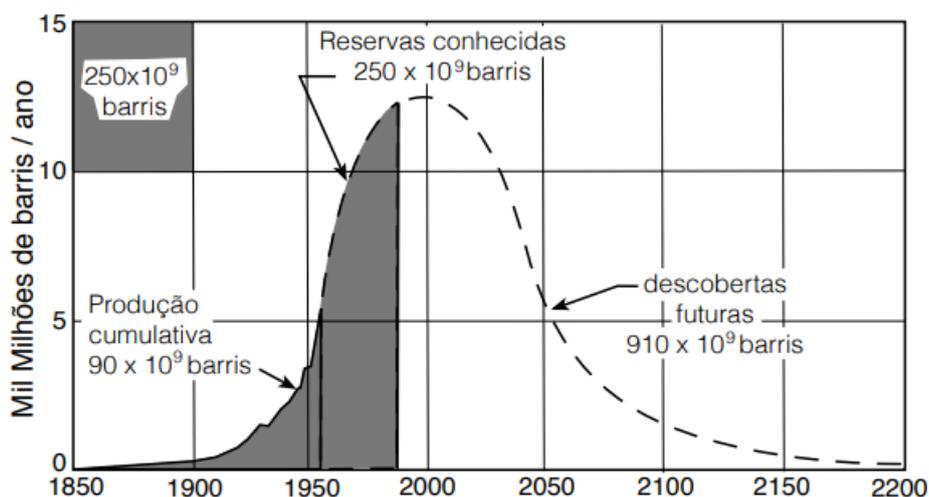


Figura 3 – Recursos Energéticos

Fonte: M. K. Hubbert, “Nuclear Energy and Fossil Fuels”, p.75 (1956)

Em seu estudo, Hubbert observou a produção de todos os poços e campos de petróleo de uma região, e então, concluiu que o pico da produção ocorreu aproximadamente quando se extraía a metade do petróleo. Ele não previa o fim do petróleo, do contrário, sua teoria previa que as reservas existentes nunca irão terminar, mas diminuiriam gradualmente até a extração deixar de ser rentável. Portanto, o problema não é o esgotamento das reservas, mas a diminuição da produção numa escala em que a humanidade continuaria aumentando o seu consumo, e passando a depender de forma crescente da energia e dos produtos extraídos do petróleo. Em uma entrevista em 1989, o geólogo Hubbert afirmou “é difícil saber o que é mais notável - se a Terra levou 600 milhões de anos para fazer seu petróleo ou 300 anos para esgotá-lo”.

A figura 4 mostra como o consumo mundial de petróleo vem em uma crescente, onde só foi interrompida em 2020 com a pandemia global do COVID-19, que afetou principalmente o setor de transportes, estacionando o consumo, em razão das medidas adotadas para conter a pandemia. Foi a primeira queda no consumo em mais de 6 anos.

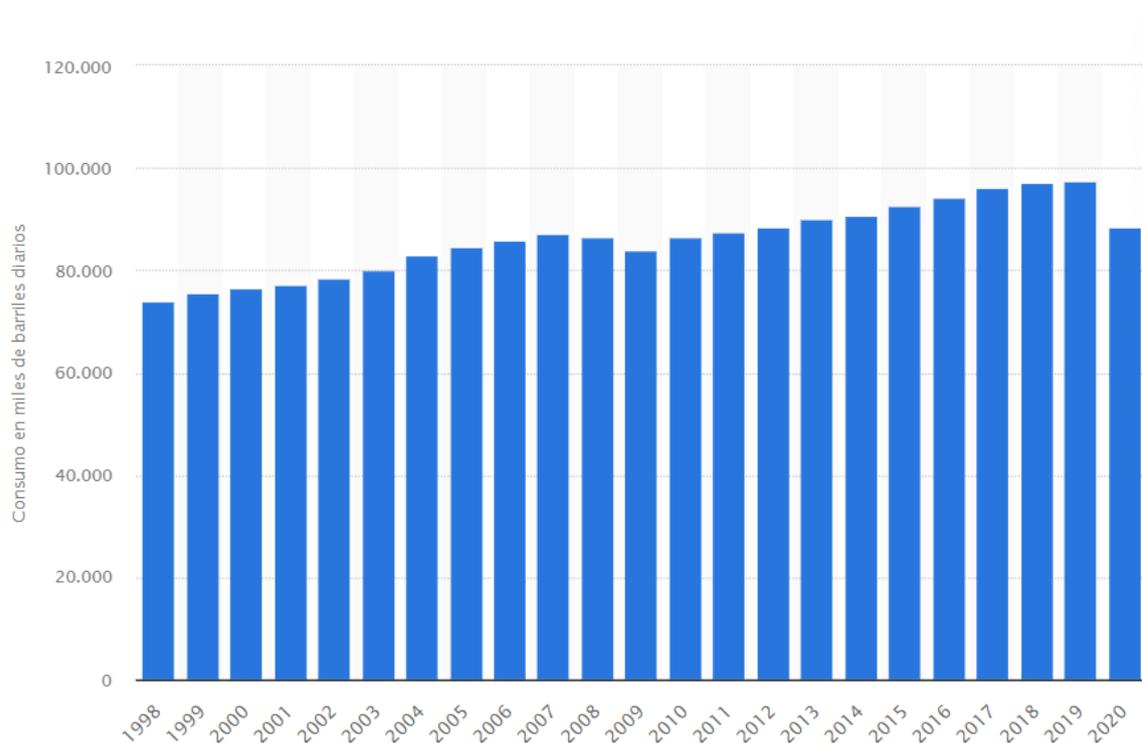


Figura 4 – Consumo mundial de petróleo de 1998 a 2020

Fonte: Statista (2021)

As previsões de Hubbert não levaram em consideração influências ligadas a crises sociais econômicas como os embargos da OPEP em 1975 ou a extração de petróleo a partir de xistos e areias betuminosas na última década. Mas os perigos de se tornar extremamente dependente de uma única fonte de energia, principalmente quando esta fonte é esgotável, já aconteceram na história. Com a desintegração da União Soviética em 1991, Cuba viu o fim do apoio soviético principalmente na forma de se obter petróleo mais barato, este país não produzia petróleo em quantidade relevante, tendo uma economia fechada e com poucos recursos naturais, estando ainda sob embargo internacional. Este período ficou conhecido como Período Especial

em Cuba, onde toda a economia local teve que sofrer alterações, pois faltava equipamentos e insumos para a lavoura, o uso de automóveis declinou e a indústria teve de ser modificada.

3.2.2 Geopolítica do petróleo

Como visto na seção anterior, um dos grandes perigos da sociedade é manter sua economia dependente de uma única energia, mesmo que esta seja extremamente lucrativa. O valor do petróleo está ligado à sua escassez e sua vasta utilização. Quanto mais raro e difícil de se conseguir um produto, mais valor é atribuído a tal produto, neste caso, o petróleo segue o dilema da água e diamante, onde apesar de a água ter maior utilidade, é mais barata, uma vez que é encontrada em maior quantidade, já o diamante é raro, portanto, mais caro. Sobre a utilização, como já visto o petróleo é utilizado em diversos setores.

Devido a suas inúmeras aplicações, o consumo de petróleo cresceu fortemente entre 1920 e 1973. O primeiro choque do petróleo aconteceu em 1973, quando os países do Oriente Médio descobriram que o petróleo era um recurso não renovável, os produtores então diminuíram a produção e elevaram o preço do barril, então, as vendas para os Estados Unidos e União Europeia sofreram embargos devido ao apoio dado a Israel na Guerra de Yom Kippur. Nessa época, tendo como origem o conflito no Oriente Médio, o preço do petróleo rapidamente quadruplicou, provocando grande reflexo na economia mundial. (FARAH; 2012).

Por tais fatos sobre o petróleo, os países que possuem reservas passam a contar com um recurso estratégico, e então começam a ter influência no setor, como os países do Oriente Médio em 1973. O poder e a lucratividade associados a posse destas reservas podem vir a se tornar palco de diversos conflitos, principalmente quando a maioria das reservas é concentrada em uma única região.

Segundo Ross (2015, p.20):

Grande parte do seu petróleo concentra-se em países afetados por décadas de guerra civil, como o Iraque, o Irã e a Argélia. Muitos observadores culpam as tradições islâmicas ou a herança colonial pelos males da região, no entanto, a verdade é que a riqueza do petróleo está na raiz de muitos dos problemas econômicos, sociais e políticos do Oriente Médio e representa um enorme desafio às reformas democráticas necessárias para saná-los.

A civilização tem se baseado no consumo de combustíveis fósseis, carbono, gás natural e petróleo, o problema desses tipos de combustíveis é que são extremamente contaminantes e esgotáveis. Dentro destes combustíveis, a principal fonte de energia é o petróleo, sendo o combustível que marca a geopolítica da energia, portanto uma parte muito importante da economia mundial, desde o século XX. A figura 2 e a figura 5 mostram os países que lideram a geopolítica do petróleo, os principais atores são aqueles que possuem amplas reservas e aqueles que consomem em grande quantidade. Assim, os membros da OPEP, e outras nações como Estados Unidos e China, estão entre os maiores consumidores da atualidade.

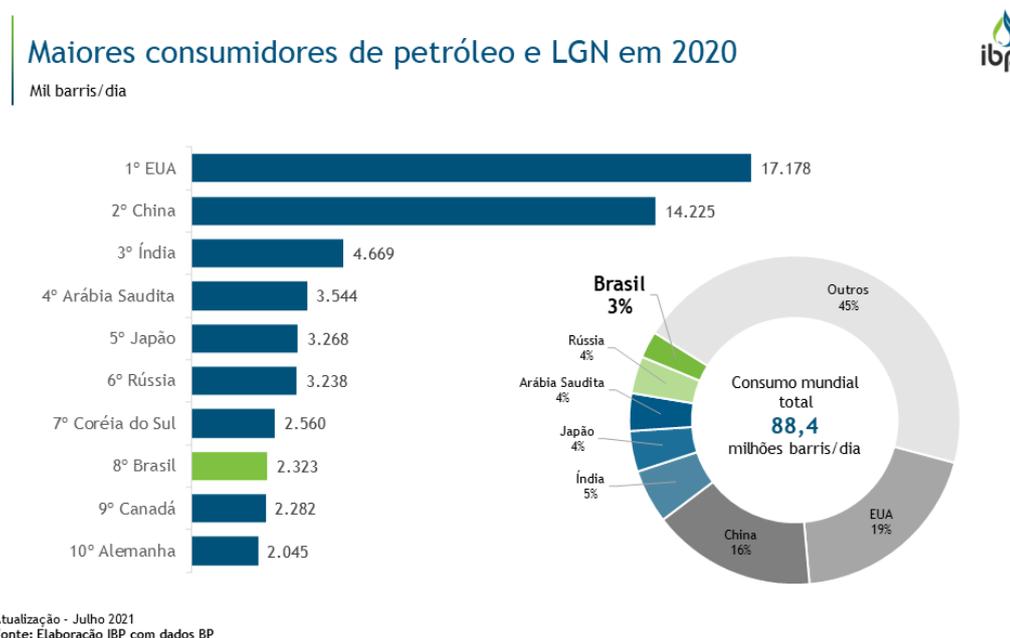


Figura 5 – Maiores consumidores de petróleo e LGN em 2020

Fonte: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás com base nos dados da British Petroleum, 2021

3.2.2.1 Países detentores de petróleo e suas reservas

Ter posses de reservas de petróleo deveria significar possuir um poder econômico. No entanto, isto não é o que acontece na prática em alguns países. Os países que possuem vastas reservas de petróleo, espalhados pelo Oriente Médio, pela África, América Latina e Ásia, não estão mais ricos, na verdade alguns encontram-se em situação bem pior do que tinham antes de descobrir o petróleo em suas terras (ROSS; 2015). Como é o caso da Venezuela, país que possui a maior reserva de petróleo do mundo.

Em 1914 a Venezuela descobriu petróleo, e então se tornou a "Arábia Saudita das Américas", maior produtor de petróleo no mundo até então. Sua economia começou a crescer, e em 1958, o país sofreu o seu 7º golpe de Estado. Até aquele momento o país acumulava riquezas e se destacava com relação aos demais países da região, no entanto, todo este crescimento era excludente, e com taxas elevadas de pobreza. Por isso, passou a ser objetivo central do governo a redistribuição de renda. Nos anos 70, o governo promove a estatização da produção do petróleo, e em meio à crise de 1973, os preços dispararam, e a receita se amplia. Mas os gastos públicos também.

Procurando corrigir os problemas sociais, o governo passa a ignorar a dependência do petróleo, e amplia as apostas neste setor. Não havia tentativas de diversificar a economia e nem preocupação com a poupança. E ocorre a Doença Holandesa, nome dado a relação entre a exportação de um recurso natural e o declínio do setor manufatureiro, quando um único setor da economia se torna tão dominante que tentar ir pra outros setores não faz diferença. E em 1981 e 1983, as exportações caíram. A figura 6 mostra a queda na produção de petróleo no país, e por isso, o sistema venezuelano se tornou insustentável e a atividade exploratória acabou. Hoje a indústria do petróleo tem participação mínima no mercado internacional e não consegue influenciar no preço do barril devido à baixa oferta.

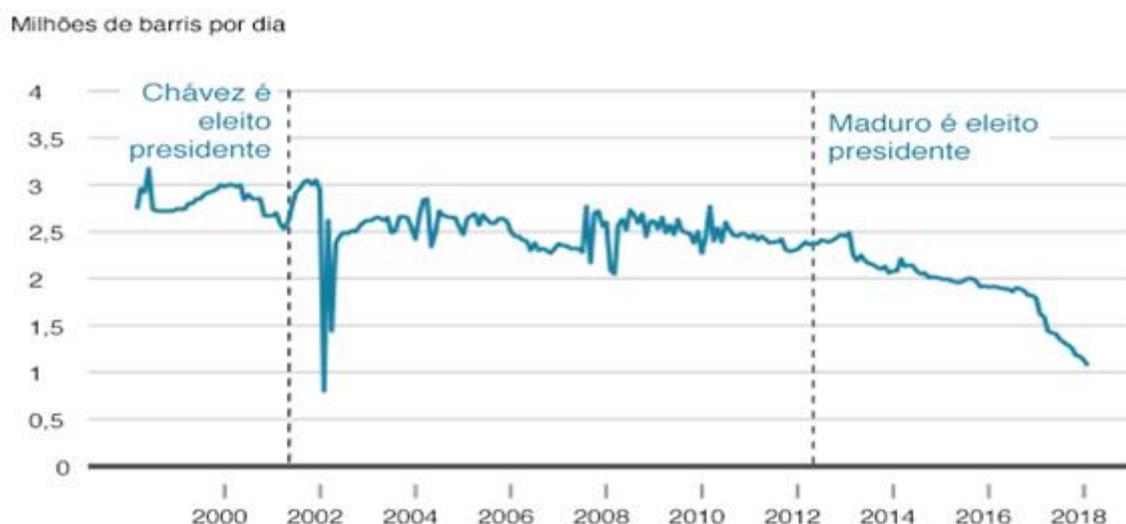


Figura 6 – A produção de petróleo está caindo na Venezuela

Fonte: OPEP (2019)

Outros países produtores de petróleo como a Argélia, Angola, Colômbia, Nigéria, Sudão e Iraque foram marcados por décadas de guerras civis. Todos os problemas sociais e econômicos ligados ao petróleo correspondem a uma maldição dos recursos naturais. (ROSS; 2015)

O trabalho de Sachs e Warner (1997), analisou 95 países em desenvolvimento que são ricos em recursos naturais, entre as décadas de 1970 e 1990, os autores reafirmam a tese da doença holandesa. Tal tese afirma que existe uma relação inversa entre as variáveis: exportação de recursos naturais e crescimento econômico. Dessa forma, quando uma economia passa pela descoberta de novas reservas, o setor manufatureiro tende a encolher. Aplicando isto ao petróleo, o desenvolvimento da indústria gera um grave risco de desindustrialização para os países.

3.2.2.2 Relação entre países e OPEP

Com a grande dependência do mundo por petróleo no século XX, os países que possuíam grandes reservas desta matéria prima vital passaram a ser cobiçados. Por isso, se juntaram com o intuito de fortalecer os países produtores de petróleo perante o comércio internacional, e dessa união formou-se a OPEP em 1960. Segundo dados da OPEP, mostrados na figura 7, em 2018, 79,4% das reservas mundiais pertenciam a países membros desta união, com a maior parte concentrada no Oriente Médio, totalizando 64,5% do total da OPEP.

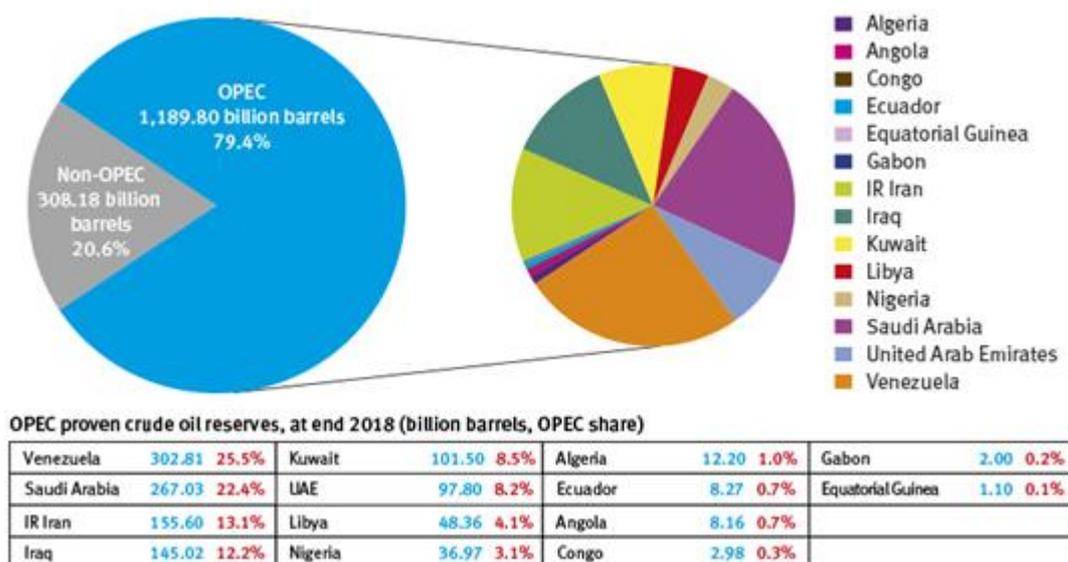


Figura 7 – Participação da OPEP nas reservas mundiais de petróleo bruto

Fonte: Boletim estatístico anual da OPEP (2019)

Como a economia atual ainda é muito dependente do petróleo, qualquer oscilação nos preços de tal matéria prima acaba por resultar em mudanças na economia mundial. A OPEP é capaz de mudar o ritmo de crescimento global e os mercados financeiros, por isso as grandes empresas acompanham todas as decisões e medidas tomadas pela organização. Mas, é preciso ressaltar que o maior objetivo da OPEP é buscar os melhores rendimentos aos seus países membros, mesmo que em detrimento do resto do mundo. Segundo Ross (2025; p. 59):

No início, os membros da OPEP simplesmente compartilhavam informações anteriormente sigilosas sobre seus contratos com as companhias petrolíferas. Ao longo do tempo, eles desenvolveram estratégias de negociação coordenadas, que, em última análise, melhoraram as condições de seus contratos.

3.2.2.3 Problemas sociais: corrupção e conflitos

Em resumo, a situação geopolítica global a curto e médio prazos, em torno do petróleo, sintetiza em uma equação elementar: menos petróleo no abastecimento mundial + maior competição entre as grandes potências pelo acesso aos recursos + aumento do terrorismo = riscos de conflitos de guerra em escala regional e mundo. (LÓPEZ, 2008)

A maior parte dos conflitos bélicos do mundo durante as últimas décadas tem em sua origem as lutas pelo controle dos recursos naturais, em particular o petróleo. Um exemplo de conflito, seria guerra da Síria e Iraque que iniciou em 2011 e ainda segue até hoje, que tem o petróleo como uma das peças centrais do conflito, onde o "Estado Islâmico" controla a maioria das regiões produtoras de petróleo na Síria. A competição por este combustível, vital para o desenvolvimento econômico, é e continuará sendo a causa de grandes crises e conflitos bélicos enquanto o mundo continuar tendo o petróleo como a principal fonte em sua matriz energética.

“Desde o início dos anos 1990, os países produtores de petróleo têm sido cerca de 50% mais propensos a uma guerra civil do que outros países não produtores” (ROSS; 2015, p. 187). O petróleo pode desencadear conflitos, pois não afeta apenas o Estado, afeta principalmente os cidadãos. As riquezas proporcionadas pelo o petróleo tem dois efeitos extremamente contraditórios:

1. Aumentar a renda, desta forma é mais difícil que a população esteja disposta a entrar em guerras civis.
2. Induzir rebeliões, fazendo a independência ser rentável em regiões produtoras de petróleo.

“Muitos estudos estatísticos descobriram que a produção de petróleo está relacionada ao risco de uma guerra civil em um país” (ROSS; 2015; p. 198). A ideia de que as rendas advindas de recursos minerais geram incentivos econômicos para rebeliões foi desenvolvida pela primeira vez em uma série de artigos de Collier e Hoeffler. Em sua tese chamada "ganância" o foco é a teoria da busca de renda, que sugere a existência de um "prêmio" que induz os indivíduos a gastar tempo e recursos para se apropriar de tal "prêmio". Aplicando isto aos recursos naturais, neste caso, o petróleo, a motivação de tentar capturar tanto o estado quanto os meios para financiar rebeliões. Collier e Hoeffler (1998) pressupõem que as rendas minerais podem levar a rebeliões. Se rebeldes tiverem a oportunidade de extrair e vender recursos (ou extorquir dinheiro) então eles são mais propensos a abundância de petróleo e conflitos políticos violentos, que podem levar a guerras civis. Segundo Ross (2015; p. 198) e que pode ser verificado na tabela 1:

A maneira mais simples de mostrar isso é através do cálculo da taxa anual em que os países produtores e os não produtores de petróleo sofrem com guerras civis. Entre 1960 e 2006, os países sem petróleo enfrentaram probabilidades de 2,8% a cada ano de insurgência de um novo conflito; países com petróleo tiveram um risco de conflitos anual de 3,9%, quase 4,0% acima. Esses números globais escondem algumas diferenças importantes.

Tabela 1 – Guerras Civis, 1960-2006

Guerras civis, 1960-2006			
Esses números mostram a porcentagem de países que tiveram uma nova guerra civil em um determinado ano			
	Não produtores de petróleo	Produtores de petróleo	Diferença global
Todos os estados e períodos por renda	2,8	3,9	1,0**
Baixa renda (abaixo de UC\$ 5.000)	3,8	6,8	3,0***
Alta renda (acima de US\$ 5.000)	1,2	1,4	0,2
Por período			
1960-89	2,4	2,7	0,2
1990-2006	3,6	5,3	1,7**
* Significativo em 10%, em um teste t de intervalo único			
** Significativo em 5%			
*** Significativo em 1%			

Fonte: A Maldição do Petróleo, 2015, ROSS, p.198

Como visto na tabela 1, ter petróleo não tem efeitos sobre conflitos em países relativamente ricos, mas aumenta o risco em países de baixa e média renda em quase 80%, conforme as linhas dois e três da tabela 1.

Outras teorias sugerem que o petróleo leva a conflitos armados, incentivando intervenções militares estrangeiras, como as guerras civis no Iraque depois de campanhas militares lideradas pelos Estados Unidos em 1991 e 2003. (ROSS;2015). Um relatório formulado por acadêmicos das universidades britânicas de Warwick, Portsmouth e Essex, e publicado pelo Journal of Conflict Resolution, examinou 69 guerras civis entre 1945 e 1999, segundo os resultados deste relatório, as guerras civis representam 90% de todos os conflitos armados desde o fim da 2ª Guerra Mundial. Destas, 67% têm intervenção estrangeira, o relatório concluiu que a decisão dos governos estrangeiros pela intervenção é feita com o desejo de controlar o fornecimento de petróleo nos Estados em conflito, por questões históricas e geográficas, ou por laços culturais e étnicos que representam pontos menores.

Além de estar ligado a conflitos armados e guerras civis, o petróleo ainda pode ter ligações com a corrupção em alguns países. O número de democracias no mundo tem crescido, e hoje cerca de 60% dos países do mundo são democráticos, e quanto mais petróleo um país tem, menos propenso esse país está de se tornar uma democracia.

Por décadas, o Oriente Médio teve menos democracia e mais petróleo que qualquer outra região do mundo. Isso não é coincidência: dirigentes financiados pelo petróleo usaram por muito tempo seus petrodólares para se entrincheirar no poder e bloquear reformas democráticas. Embora os manifestantes tenham tomado as ruas em quase todos os países árabes, eles tiveram muito mais facilidade em derrubar dirigentes em países pobres em petróleo, como Tunísia e Egito, do que em países ricos em petróleo, como Líbia, Bahrein, Argélia e Arábia Saudita. (ROSS; 2015, p. 87).

O petróleo revela um atraso no que se refere às mudanças políticas e o fortalecimento de regimes autoritários. Beblawi (1990) afirma que membros do governo e da indústria, a elite rentista, capturam rendas dos recursos naturais e utilizam para criar redes de patrocínio e privilégio que permitem a consolidação do poder. Estudos implicam que os cidadãos tendem a apoiar governos com maiores orçamentos e baixos impostos.

Os países que apresentam grandes riquezas petrolíferas per capita, como os ricos em petróleo da península Arábica, oferecem a seus cidadãos uma lista notável de benefícios gratuitos, como educação universitária e sistema de saúde gratuitos, além de alimentação e moradia subsidiada. Quando os preços do petróleo caíram, o governo saudita tentou aumentar

impostos e cortar subsídios, mas sofreu amplas críticas populares, e então voltou atrás nas medidas. Em resposta às rebeliões de 2011, quase todos os governos do Oriente Médio ofereceram novos subsídios a seus cidadãos. (ROSS; 2015, p. 101)

Em quase todos os países as reservas de petróleo são de propriedade estatal, o que dá ao governo uma maior participação no faturamento do setor, e permite uma arrecadação de receitas diretamente, sem ter que taxar empresas do setor privado. Países de baixa renda quando descobrem petróleo podem desencadear graves problemas nas finanças do setor público.

Segundo Ross (2015): "Países que são financiados pelo petróleo não são financiados pelos impostos taxados sobre seus cidadãos, mas pela venda dos ativos detidos pelo Estado, ou seja, pela riqueza petrolífera de seu país", o que ajuda a entender porque tantos países que produzem petróleo são autoritários, pois quando financiados pelos impostos são limitados pelos cidadãos, quando financiado pelo petróleo sofrem menos pressões públicas. Além disso os preços do petróleo são voláteis, produzindo grandes flutuações nas finanças governamentais, o que possibilita agravamento de conflito, e o surgimento de corrupção, pois aliado a isso, existe a possibilidade de o governo ser conivente com companhias internacionais de petróleo, que costumam ocultar transações, escondendo receitas e despesas.

Todos os fatos narrados até aqui apresentam a verdadeira maldição dos recursos naturais, em que países que possuem grande reservas de petróleo mesmo com as altas receitas que deveriam ter não conseguem se desenvolver economicamente.

3.2.3 Ambiental

Como visto até aqui, existem problemas ligados à utilização do petróleo, como sua escassez e os conflitos ligados a este recurso. Estes dois fatos, por si só, já promovem a necessidade de se encontrar fontes alternativas que possam diversificar o setor, deixando o mundo menos dependente de uma única energia, e que não tenha previsões de esgotamento tão rápidas. Mas o petróleo além de afetar a economia e social, ainda promove fortemente danos ao meio ambiente, e esta é a principal razão para a busca de uma energia alternativa.

Os riscos ligados da utilização deste recurso natural iniciam já em seu processo de extração, e seguem ao longo de seu transporte, refino e consumo, provocando a emissão de gases poluente a atmosfera e vazamentos em grandes escalas, com vias de afetar a existências de espécies, e quando chega à costa, pode ainda afetar a economia local e a saúde humana. Rosa

(2014; p. 26) afirma que “os combustíveis fósseis ainda são os recursos energéticos mais baratos e mais convenientes, embora o seu uso polua o ambiente. Estamos próximos de uma situação em que não se pode mais rejeitar o problema ou adiar uma solução”.

2.2.3.1 Aquecimento global, queima de combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e o petróleo) são os principais causadores das mudanças climáticas e aquecimento global. “É espantoso que produtos químicos medidos em partes por milhão, bilhão e trilhão possam afetar o planeta. Mesmo assim, os próximos cem anos da Terra, ou mais, dependerão desses gases residuais (...)” (WEINER; 1992, p. 52). A poluição ambiental é a maior desvantagem do uso do petróleo, o dióxido de carbono e outros gases liberados no processo de queima desse combustível são os responsáveis pelo aquecimento global.

Um dos maiores sucessos adaptativos do homem, e impulsionador do crescimento econômico desde a Revolução Industrial, foi a habilidade de extrair a baixíssima entropia contida nos combustíveis fósseis. Por outro lado, isso se revelou a principal causa do aquecimento global, fenômeno que, paradoxalmente, dificultará a adaptação da espécie. Muito antes de representarem um problema, os impactos ambientais exigirão restrições ao crescimento da atividade econômica (MAY; 2018, p. 48).

O principal motivo para o aquecimento global é a intensificação do efeito estufa, um fenômeno natural que permite a manutenção de calor na superfície terrestre, no entanto, este fenômeno está sendo intensificado pela intervenção humana de forma a prejudicar a própria sociedade. O problema está na emissão de gases efeito estufa em quantidade cada vez maior na atmosfera, tendo como principal origem a queima de combustíveis fósseis, o que acaba por dificultar a dispersão do calor para o espaço, retendo cada vez mais calor no planeta, e assim aumentando as temperaturas.

Portanto, a queima dos combustíveis fósseis está diretamente ligada às emissões de dióxido de carbono (CO₂), e este é o principal componente do efeito estufa. A figura 8 abaixo mostra o aumento da temperatura do planeta e o aumento das emissões de carbono, e como estas duas variáveis têm uma forte correlação, onde a elevação da temperatura acompanha as emissões de CO₂. Ainda segundo a figura 8, a reta de tendência linear entre as variáveis indica

que 84,7% da variabilidade da temperatura global está associada positivamente com as emissões de CO₂, entre os anos de 1880 e 2018.

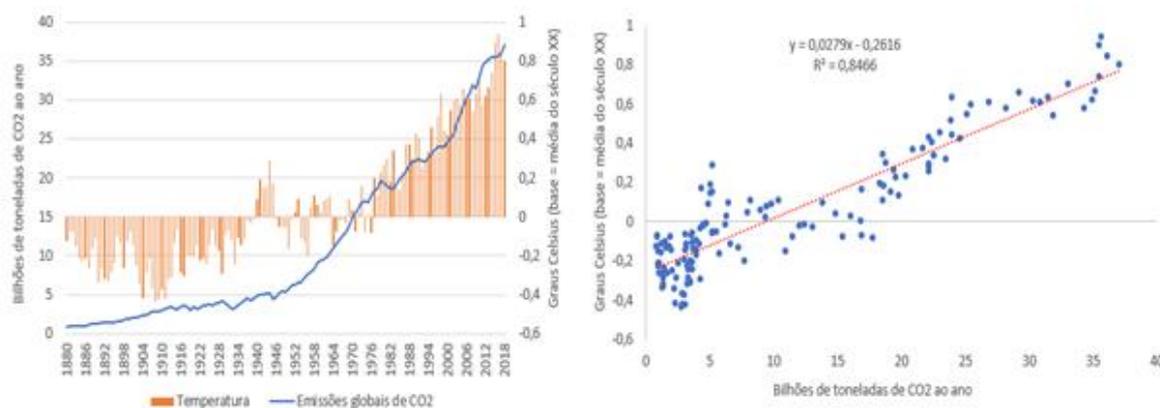


Figura 8 – Emissão global de CO₂ e Temperatura global: 1880-2018

Fonte: Global Carbon Project e NOAA (2019)

Já as mudanças climáticas estão associadas ao aquecimento global, e se referem não apenas ao aquecimento do planeta, mas às consequências, como aumento ou redução da quantidade de chuvas, aumento de temporais, furacões mais intensos, aumento da umidade do ar, entre outros. Sendo, portanto, mudanças provocadas nos padrões climáticos a longo prazo com base nas alternâncias meteorológicas. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as mudanças no clima são causadas principalmente pelo aumento das emissões de gases do efeito estufa, o que é resultado das atividades humanas, como os desmatamentos e a queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

3.2.3.2 Vazamento

Outro grave problema ambiental provocado pelo petróleo, é o derramamento nos oceanos, que pode acontecer por acidentes em plataformas de petróleo ou por navios petroleiros, causando prejuízos a todo o ecossistema. Gerando diversas consequências, como intoxicação da vida marinha, interferindo na cadeia alimentar do ecossistema, afeta a vida de aves marinhas, chegando à costa pode afetar toda a vida costeira, o que implica também na econômica local, turismo e a vida do ser humano que pesca em áreas atingidas.

Em 2019, o Brasil passou pelo maior vazamento de petróleo do país até então. Foram cerca de 5 mil toneladas de petróleo no litoral do Nordeste brasileiro, o Instituto Brasileiro do

Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (Ibama), relatou que foram 1.004 localidades em 11 estados, em mais de 130 municípios. O ocorrido prejudicou o turismo, que é a principal fonte econômica do Nordeste, empregando muitas pessoas, além disso, afetou drasticamente a vida dos moradores que vivem da pesca, foi um grande prejuízo para estas comunidades.

3.3 Economia verde

Apesar de todas as problemáticas ligadas ao petróleo, simplesmente retirar da cadeia de produção e abandonar tal matéria prima seria inviável. O petróleo e seus derivados ainda não podem ser substituídos em toda sua plenitude, por exemplo, o petróleo é usado na indústria farmacêutica, estando presente na composição de diversos medicamentos. Mas o mundo pode passar por um processo, onde o objetivo seja ter uma Economia Verde, e, portanto, não eliminar o petróleo como uma fonte de energia e matéria prima, e sim controlar os danos provocados por ele, até que novas tecnologias apareçam e possam com o tempo substituí-lo.

O conceito de Economia Verde foi desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) em 2008, e refere a um conjunto de ações que tem por objetivo promover a economia com um pleno crescimento, baseando se no bem estar social, centrada em reduzir riscos ambientais e conservar o meio ambiente. E para isso, a economia verde opta por buscar uma conciliação, que visa produzir menos carbono, de forma a ter maior controle sobre mudanças climáticas e aquecimento global, uso eficiente e sustentável de recursos naturais e a inclusão social.

3.3.1 Importância para a sociedade

A ideia central da Economia Verde é que não apenas o planeta possa se beneficiar com a implantação do modelo econômico proposto pela Pnuma, mas a economia como um todo possa ainda se desenvolver. Uma vez que permite a geração de novos setores, o que leva ao desenvolvimento de novas empresas, empregos e melhorias na renda da população.

Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), novas fontes de crescimentos podem vir da adoção da Economia Verde:

- Produtividade – ao incentivar a eficácia na utilização de recursos e ativos naturais, reduzindo o desperdício e o consumo de energia
- Inovação - oportunidade de inovação, permitindo novas formas a criação de valor

- Novos mercados – criação de mercados, impulsionados pela procura de tecnologias e bens verdes, resultando na criação de novos postos de trabalho
- Confiança - proporciona confiança dos investidores através de maior previsibilidade e estabilidade no que diz respeito às questões ambientais
- Estabilidade – condições macroeconômicas mais equilibradas, preços dos recursos menos voláteis e apoio à consolidação orçamental

Ainda segundo a OCDE o crescimento verde vai reduzir os riscos para crescimento provenientes:

- Estrangulamentos – que surge quando a escassez de um recurso ou a sua qualidade é reduzida fazendo o investimento ficar mais caro, com necessidade infraestruturas intensivas
- Desequilíbrios - nos sistemas naturais que podem originar riscos de efeitos abruptos, prejudiciais e potencialmente irreversíveis

“Precisamos do crescimento verde porque os riscos do desenvolvimento estão a aumentar à medida que o crescimento continua a desgastar o capital natural” (OCDE; 2011). Caso isso não seja levado em consideração pelos países e pela sociedade, os riscos seguirão, mudanças climáticas acentuadas, escassez de recursos vitais, estrangulamento dos recursos, aumento da poluição mundial, além de perdas irrecuperáveis para a biodiversidade.

3.3.2 Coronavírus e a economia verde

Desde a descoberta do novo coronavírus, o Covid-19, que causa infecções respiratórias, e a Organização Mundial da Saúde declarou estado de pandemia, uma série de medidas foram tomadas com o objetivo de conter a disseminação da doença, entre estas medidas, a adoção do isolamento social da população. A baixa atividade humana vista em 2020 gerou diversas consequências e impactos, mas mudanças positivas para o meio ambiente.

Com indústrias paralisadas e a diminuição de transportes nas ruas, a qualidade do ar melhorou e as emissões de dióxido de carbono diminuíram. Em dados coletados pela Universidade de Columbia, a cidade de Nova York teve diminuição de 50% nas emissões de monóxido de carbono de automóveis em 2020, quando comparada com o mesmo período de 2019.

A pandemia reduziu o consumo de combustíveis fósseis na maior parte do ano, e as energias renováveis e os veículos elétricos, principais blocos das transições para energia limpa, permaneceram imunes. Segundo dados da IEA, agência internacional de energia, as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia caíram 5,8%, maior declínio desde a 2ª Guerra Mundial, e a demanda por combustíveis fósseis foi a mais atingida, especialmente o petróleo que caiu 8,6%

O ano de 2020 foi marcado principalmente pela desvalorização do petróleo, o que tornou um ano difícil para o setor petrolífero, segundo o *The Wall Street Journal*, o setor sofreu depreciação de aproximadamente US\$145 bilhões. Com as medidas de isolamento, a demanda por petróleo diminuiu muito, em razão disso os preços também caíram, acabando por inviabilizar a produção de vários setores, e afetando o mercado mundial. Já em 2021 com o fim das restrições de combate à pandemia, espera-se uma recuperação da economia, e em decorrência disso os preços devem se elevar ao longo do ano.

Em decorrência dos preços baixos do petróleo, o setor energético teve que se adaptar às mudanças. Segundo dados do Relatório de Tendências Globais de Investimento em Energia Renovável de 2020, do Pnuma, os custos para instalação de energia limpa foram reduzidos, esta queda é uma oportunidade para a recuperação econômica após a pandemia. Um exemplo, é a decisão da União Europeia (UE) para a retomada da economia, em sua proposta apresentada a indústria verde teve destaque.

3.4 Fonte alternativa de energia

Por todos os problemas associados à energia advinda do petróleo, pela oportunidade de diversificar a economia e pelas necessidades naturais e humanas por mudanças, fica claro a necessidade de adoção de uma fonte de energia alternativa. E esta alternativa escolhida deve: proporcionar um processo de descarbonização, promover crescimento econômico e inclusão social.

3.4.1 Mercados em que o petróleo pode ser substituído

O petróleo é utilizado em diversos setores: industrial, comercial, energia elétrica e no setor de transportes. Produtos petrolíferos impulsionam veículos, aquecem edifícios e produzem eletricidade. No setor industrial, é utilizado como matéria prima para a produção de

plásticos, poliuretano, solventes e centenas de outros bens intermediários e para o usuário final. O petróleo, por sua vez, deverá permanecer como a principal fonte de energia mundial até que haja restrição de oferta, após o atingimento do pico de produção mundial (WEIGMANN, 2002).

O fato do mundo ser tão dependente da energia do petróleo levanta preocupações caso aconteça uma crise energética, o que seria de grande impacto no desenvolvimento macroeconômico mundial, uma vez que a energia é essencial para a vida. Apesar de muitos países já terem diversificado suas fontes de energia, o petróleo ainda é responsável por boa parte da energia gerada. E é uma verdade que produzir uma energia já estabelecida no mercado mundial é uma opção mais fácil do que procurar alternativas, principalmente se a opção mais fácil tiver tanta utilidade para a sociedade.

A resposta à pergunta sobre a substituição do petróleo é, não. Está matéria prima ainda não pode ser totalmente substituída, e não será substituída em sua plenitude por uma única alternativa. Mas pode se atuar em alguns setores do petróleo, inserindo alternativas viáveis que possam proporcionar melhorias no bem estar social, diversificar a economia e ainda iniciar um processo de descarbonização.

Segundo dados do Energy Information Administration (EIA) , 66% do consumo de petróleo nos Estados Unidos pertence ao setor de transportes em 2020. Os setores em que o petróleo pode, e deve, encontrar competição nos próximos anos são os de energia elétrica e de transporte, sendo o setor de transporte o que mais utiliza tal energia, nestes setores o petróleo pode acabar sendo substituído, mas não é fim da energia do petróleo.

Essa competição ao petróleo vai proporcionar uma melhoria social, econômica e ambiental, sem que de fato se acabe com a energia do petróleo. Assim, essa energia poderá ser utilizada nos setores em que realmente ela é indispensável.

3.5 Hidrogênio

A produção de energia é um aspecto crucial das sociedades modernas, é tão necessário que o desenvolvimento de um país, seja econômico ou social, está diretamente ligado ao potencial energético. Um exemplo, é como a Inglaterra liderou a Revolução Industrial, um período de desenvolvimento baseado no carvão. E no campo energético, desde a 2ª Guerra Mundial prevaleceu o uso do petróleo e seus derivados, mas esta energia apresenta muitos problemas, principalmente no âmbito ambiental, com derramamentos em oceanos e emissão de poluentes. Para os enfrentamentos desses problemas, estratégias vêm sendo consideradas, como

o uso mais eficiente dos combustíveis fósseis e o uso de fontes de energias renováveis (GOLDEMBERG; PALETTA; 2011).

Na busca por fontes alternativas de energias, os biocombustíveis como o etanol e o biodiesel foram considerados no setor de transportes, pois ambos não têm origem fóssil. O etanol é produzido por meio de moléculas de açúcares encontradas em vegetais, como a cana-de-açúcar, milho, beterraba, entre outros. E o biodiesel é produzido com base em gorduras animais e óleos vegetais como óleo de girassol, soja, óleos de cozinha usados. Mas, apesar de serem fontes de energias renováveis, o etanol e o biodiesel produzem gás carbônico (CO₂) durante sua combustão, o principal causador do efeito estufa.

A alternativa ao petróleo, que possa num futuro eliminar este combustível do setor de transportes e energia elétrica, precisa vir de uma fonte renovável de energia e precisa ser sustentável, ou seja, capaz de atender as necessidades das gerações atuais, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Neste caso, precisa eliminar totalmente gases do efeito estufa (GEE) da sua cadeia de produção e combustão. Com base nessas ideias, surge o Hidrogênio como fonte de energia.

O Hidrogênio é visto como a grande solução sustentável para o avanço da sociedade, pois pode substituir o petróleo sem decréscimo da capacidade energética ou grandes modificações de tecnologias existentes na geração de energia (RIFKIN; 2003). Este é o elemento mais abundante da Terra, e apesar de não fluir livremente, pode ser obtido a partir da extração do gás natural, carvão, petróleo ou da água. Outro benefício deste elemento, é que sua combustão resulta somente em água, ao invés de monóxido e dióxido de carbono, gases emitidos pela queima do petróleo.

(...) a geração de energia elétrica mediante o uso do hidrogênio em células a combustível vem sendo considerada em muitas outras aplicações, estacionárias ou móveis, já estando estabelecidos dois importantes nichos de mercado: sistemas de backup para torres de telecomunicações e na tração de empilhadeiras para uso em locais fechados, em ambos os casos substituindo bancos de baterias eletroquímicas. As expectativas atuais indicam que em uma ou duas décadas veículos e sistemas de potência utilizando hidrogênio e células a combustível terão uma significativa participação nos seus respectivos mercados, devendo esse combustível aparecer nas matrizes energéticas de muitos países. (GOLDEMBERG; PALETTA; 2011, p. 102)

3.5.1 Tipos de hidrogênio

O Hidrogênio é um combustível limpo, mas sua fabricação consome muitas energias, e os métodos utilizados para essa fabricação modificam o resultado final. Existem 3 tipos principais de hidrogênios que podem ser produzidos de acordo com sua fabricação:

- Hidrogênio cinza - é obtido a partir do carvão e gás natural, há liberação de resíduos de carbono no processo
- Hidrogênio azul – produzido a partir do carvão e gás natural, mas se preocupa com a captura e armazenamento de CO₂
- Hidrogênio verde - é produzido pela eletrólise da água, com a utilização de energia elétrica advinda de fontes de energia renováveis (solar e eólica), processo sem emissão de CO₂

3.5.2 Como obter energia do hidrogênio

O hidrogênio (H) é o elemento mais abundante da terra, no entanto ele geralmente é encontrado como parte de outro composto, como a água (H₂O) ou o metano (CH₄), para ser utilizado como energia precisa ser separada em hidrogênio puro. Este elemento, não é considerado uma fonte de energia primária, já que não existe livremente na natureza. Portanto, é chamado de fonte de energia secundária ou portador de energia. (MOREIRA; 2021).

O hidrogênio pode ser produzido a partir de vários recursos, como combustíveis fósseis, energia nuclear, biomassa e energias renováveis. O impacto ambiental e a eficiência energética do hidrogênio dependem de como ele é produzido, pois se um processo demanda mais energia do que é liberada, este processo não é sustentável. Existem diversas formas de se produzir o hidrogênio, utilizando os recursos já citados, e este processo pode acontecer a partir: da eletrólise da água, da reforma do gás natural, da gaseificação do carvão ou biomassa, da decomposição térmica da água a altas temperaturas (termólise), da fotoeletrólise e ainda de processos biológicos. O esquema abaixo da figura 9 apresenta as diversas fontes energéticas e o processo utilizado para obtenção do hidrogênio

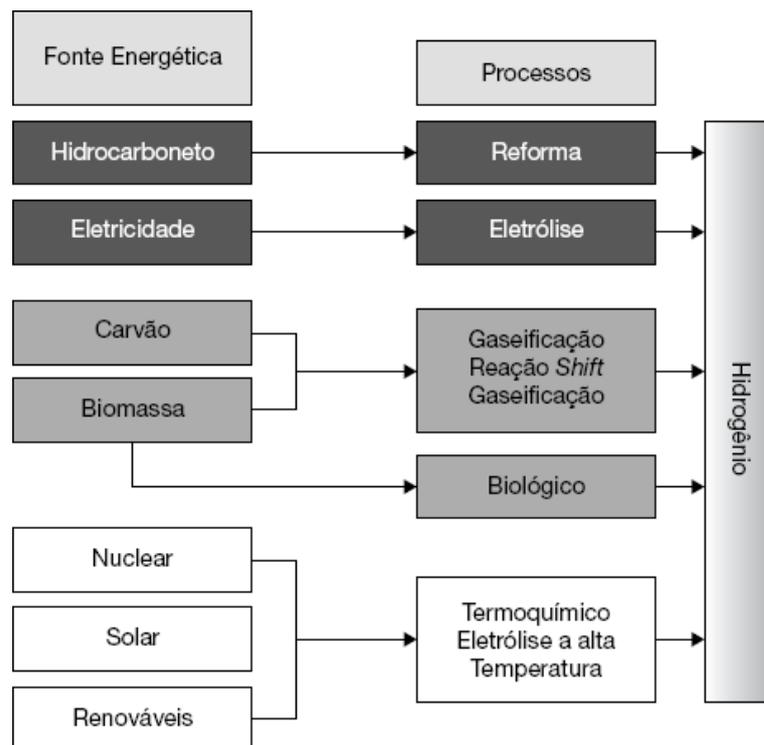


Figura 9 - Produção do hidrogênio a partir de fontes de obtenção e seus processos

Fonte: Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, MOREIRA, 2021, p. 377

Para efeitos de análise, vamos debater sobre o processo mais utilizado atualmente e o processo ideal de obtenção de energia do hidrogênio: a reforma do gás natural e a eletrólise da água, respectivamente. Além disso, “a eletrólise da água e a reforma de gás natural despontam como tecnologias muito promissoras para iniciar o processo de transição para o hidrogênio como bem energético” (MOREIRA; 2021; p. 377).

A reforma do gás natural: o metano proveniente do gás natural (CH_4) é uma das fontes de hidrogênio, atualmente metade do hidrogênio produzido no mundo provém do gás natural. Na reforma do metano é utilizado para a produção o gás de síntese (syngas), que é uma mistura dos gases hidrogênio e monóxido de carbono, e é produzido pelo processo de gaseificação. Basicamente é criado por uma reação do gás natural com vapor em alta temperatura, e posteriormente o monóxido de carbono reage com a água, separando o hidrogênio adicional.

Esse método é o mais barato e o mais comum para criação do hidrogênio, no entanto, esse sistema de produção de hidrogênio não é considerado sustentável, pois elimina CO_2 no processo, que contribui para o efeito estufa. Além disso, esse processo depende da extração do gás natural, o que faz com que esse sistema seja dependente de combustíveis fósseis. Esse gás de síntese também pode ser criado pela reação de carvão ou biomassa, com vapor em alta temperatura e oxigênio em um gaseificador pressurizado.

A eletrólise: neste processo, uma corrente elétrica divide a água em hidrogênio e oxigênio. Se a corrente elétrica for produzida por fontes renováveis, como energia solar ou eólica, o hidrogênio resultante deste processo será considerado sustentável. “Os produtos finais do processo de eletrólise são exclusivamente os gases hidrogênio e oxigênio, ou seja, o balanço das reações químicas resulta unicamente na decomposição da água” (MOREIRA; 2021; p. 378)

A melhor fonte de energia é o Hidrogênio Verde, obtido a partir da eletrólise da água, sendo o processo que gera o hidrogênio de maior qualidade sem a necessidade de processos avançados de purificação, no entanto, é um processo caro para grandes volumes. Segundo Moreira (2021; p. 376):

A hegemonia do petróleo nos últimos anos contribuiu para redução dos interesses e, conseqüentemente, dos investimentos públicos e privados em pesquisas de novas fontes energéticas. A transição para a economia do hidrogênio depende, em grande parte, do quanto serão valorizadas as questões ambientais no futuro, tanto por consumidores quanto por produtores, e da disponibilidade dos combustíveis fósseis para abastecer a crescente demanda energética do planeta e, por conseguinte, manter o padrão de vida da humanidade.

Para que seja transformado em um combustível para o setor de transportes, após a obtenção do hidrogênio puro, essa célula é combinada com o Oxigênio (O) do ar, por meio de uma célula de combustível, gerando eletricidade e eliminando água por meio de processo eletroquímico.

3.5.3 O mercado de hidrogênio verde

O hidrogênio verde é a fonte de energia mais limpa da atualidade, e também já representa um mercado significativo. A sociedade chegou a um ponto onde as temáticas relacionadas à sustentabilidade são temas centrais, que necessitam de soluções. Houve um agravamento nas condições climáticas, que passou a ser visto e sentido por toda a sociedade e pelas empresas. Os consumidores estão mais interessados e atentos nas marcas relacionadas à sustentabilidade. Segundo levantamento da Economist Intelligence Unit (EIU), a pedido da WWF, as pesquisas por produtos sustentáveis tiveram um crescimento de 71% nos últimos cinco anos.

Várias iniciativas mundiais estão sendo tomadas neste mercado, que apresenta um duplo objetivo: promover a recuperação da economia, abalada pela pandemia, e acelerar a transição energética. O mercado de hidrogênio já é lucrativo, mesmo que incipiente, em 2019, gerou entre

US\$118 bilhões e US\$136 bilhões, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O hidrogênio cinza, o mais produzido atualmente, é mais barato, mas não representa a alternativa ideal. Já o hidrogênio verde, proveniente de fontes renováveis (eólica e solar) utilizando a eletrólise da água, é a rota tecnológica mais cara disponível no mercado. E por isso, a União Europeia, em especial a Alemanha, vem investindo em estratégias que possam desenvolver o mercado, com expectativas de acelerar as reduções de custos desta tecnologia (EPE; 2021).

A figura 10 a seguir acompanha a evolução dos preços do hidrogênio em alguns mercados. A S&P Global Platts iniciou com um monitoramento dos preços das tecnologias de hidrogênio. A curva mostra os preços do hidrogênio, ao longo do primeiro trimestre de 2020, na Califórnia, para as tecnologias de Eletrólise PEM e a Reforma do metano.

Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio

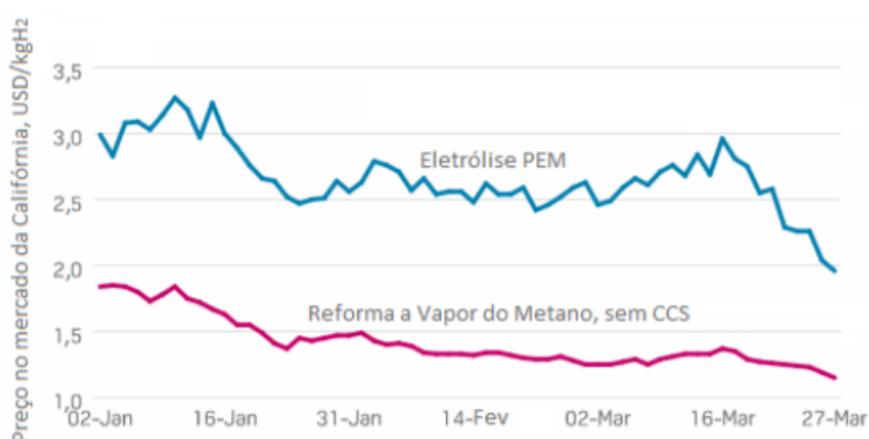


Figura 10 – Levantamento de preços do hidrogênio no mercado da Califórnia, Estados Unidos, por processo de produção, no primeiro trimestre de 2020
Fonte: S&P Global Platts (2020b)

Além de ser utilizado como fonte de energia de produção nula de carbono, o hidrogênio pode ainda promover a união de setores como o mercado de combustíveis, elétrico, industrial, entre outros. Sendo assim, esta energia pode promover a descarbonização, dinamizar o mercado e unir diferentes segmentos. Com todos estes pontos em vista, vários governos têm adotado estratégias que enfatizam a utilização do hidrogênio verde e a necessidade de redução de custos. Por exemplo, Portugal em 2020 aprovou o Plano Nacional de Hidrogênio, que exhibe o hidrogênio verde como vetor relevante para a transição energética. Entre os objetivos traçados até 2030, consta a injeção de 10 a 15% de hidrogênio verde na rede de gás natural, a construção

de 50 a 100 postos de abastecimento de hidrogênio e 2-2,5GW de capacidade instalada de eletrolisadores.

3.5.3.1 Âmbito internacional

Avaliando o mercado internacional, o mundo já se move rumo à economia do hidrogênio. Já existe um mercado internacional para esta energia, apesar de menos de 10% do mercado total de hidrogênio corresponder ao Hidrogênio verde (EPE; 2021). Apesar disso, as pressões para reduzir os impactos ambientais tem levado países e empresas a ficarem nas energias limpas, principalmente esta fonte, que pode ser o primeiro verdadeiro passo na descarbonização do planeta.

Em outubro de 2021, no relatório semestral do Banco Mundial, a exportação e produção de hidrogênio verde é citado como a alternativa a ser seguida para impulsionar a retomada da economia na América Latina e do Caribe, que foi duramente atingida pela pandemia. O objetivo é a criação de mais empregos, aliado a um processo de descarbonização. O Chile já vem adotando esta energia, e já anunciou que o aeroporto de Santiago será o primeiro da América Latina a operar com Hidrogênio Verde e seus derivados até 2030.

Companhias do setor energético já estão pensando no futuro, a Iberdrola, empresa espanhola que atua na distribuição de gás natural e distribuição de energia elétrica, fechou acordo com a Enagas e a BP, companhias do segmento de óleo e gás, para elaborar pesquisa de viabilidade do hidrogênio verde em grande escala na Espanha. O projeto ocorrerá na refinaria da BP, com o objetivo de substituir o hidrogênio cinza, que é usado hoje em dia na geração de biocombustível. Os custos desses projetos giram em torno de US\$90 milhões em investimentos para sua construção, e a previsão de início das atividades comerciais é 2023.

Outro exemplo de movimento internacional que visa ao desenvolvimento sustentável, é a junção de sete empresas em 2020, com o projeto de aumentar a produção de hidrogênio verde em 50 vezes nos próximos cinco anos, este projeto se chama “Iniciativa Catapulta de Hidrogênio Verde”. Sendo uma coalizão global formada pelo grupo saudita de energia limpa ACWA Power, o desenvolvedor australiano CWP Renewables, a fabricante chinesa de turbinas eólicas Envision, as gigantes europeias de energia Iberdrola e Ørsted, o grupo italiano de gás Snam e a produtora norueguesa de fertilizantes Yara. Eles também visam diminuir os custos atuais do hidrogênio pela metade, para menos de US\$2 por quilo. Segundo dados do banco de

investimento Goldman Sachs estima que, até setembro de 2050, este mercado terá ultrapassado US\$10 trilhões.

3.5.3.2 Âmbito nacional

O Brasil tem mostrado grande interesse nesta fonte energética, e tem grande potencial para ser líder de mercado. Com mais de 40% da sua matriz energética advinda de fontes renováveis de energia, o que representa uma grande vantagem, uma vez que para a produção de hidrogênio verde é preciso utilização de fontes renováveis para a eletrólise. Ou seja, o país conta com abundância de recursos, o que facilita o avanço da produção. Essa fonte de energia vai contribuir com a transição energética, e permitir uma consolidação da economia de baixo carbono. Além de ter os recursos para a produção desta energia, o Brasil ainda tem como principais parceiros comerciais a União Europeia, Estados Unidos e China, nações que já visam o mercado de Hidrogênio.

O país conta com potencial para produzir o hidrogênio verde mais barato do mundo e ainda acelerar o crescimento econômico com exportação deste material para outros países. Com esse cenário, o Nordeste ganha destaque nesta iniciativa. A abundância de fontes de energias renováveis presentes no país, principalmente no Nordeste com a energia eólica e solar, tem potencial de baratear a geração de hidrogênio verde. Visando este mercado, o Ceará receberá a primeira usina de hidrogênio verde do Brasil com operações previstas para 2022.

A Eneqix Energy, empresa australiana de energia, anunciou um projeto de produção de hidrogênio verde em conjunto com o governo cearense, e investimento de US\$5,4 bilhões na Base One. A Eneqix planeja criar a maior usina de hidrogênio verde do mundo, a partir da energia eólica e solar combinadas. O projeto será construído em uma localização estratégica que permite acesso direto aos principais mercados internacionais através de vias marítimas. O campo industrial contará com 500 hectares no Porto de Pecém que permitirá o processo de eletrólise. De acordo com comunicado da empresa, a adoção deste projeto, criará milhares de empregos durante a construção e empregará ainda mais funcionários na fase operacional para gerenciar as instalações, trazendo benefícios sociais positivos e de longo alcance para toda a comunidade local.

Pelos motivos de abundância de energia renovável, localização estratégica para exportação desta energia e hectares disponíveis para a instalação de campos industriais, o investimento neste mercado é interessante para o país. Mas é fundamental destinar recursos

para pesquisa e desenvolvimento, visando identificar e ultrapassar as barreiras técnicas que hoje a produção de hidrogênio enfrenta.

3.5.4 Problemas atuais na implementação do hidrogênio

Para atingir o objetivo de descarbonização total, seria preciso eletrificar o sistema de energia mundial, passando pela adoção de energia limpa e renovável. No entanto, este seria um processo muito difícil e muito caro, por isso um processo de combinar fontes de energias renováveis e combustíveis de baixo carbono, seria a solução ideal no momento, para que num futuro os combustíveis fósseis possam ser retirados desta equação. Uma economia baseada no hidrogênio e células a combustível parece a solução ideal, mas existem obstáculos (REIS; KLEINBACH; HINRICHES; 2014).

Apesar de atender os requisitos ambientais, econômicos e sociais, o hidrogênio verde tem um problema atualmente que é como armazenar e transportar um gás altamente inflamável. Além da questão da segurança, o maior desafio do hidrogênio hoje é em como está energia ficará disponível para uso a qualquer momento e em qualquer lugar, sendo fácil de transportar pelo usuário e de ser armazenada e posteriormente vendida pelo distribuidor (LAMEIRAS; 2019).

O armazenamento de hidrogênio é um desafio para que possa ser adotado definitivamente como fonte de energia. Atualmente o hidrogênio não representa uma fonte relevante de energia no setor de transportes, ele é mais utilizado no segmento industrial, portanto os produtores são os consumidores, permitindo que H₂ seja produzido e consumido em instalações próximas, o que exige uma pequena infraestrutura de armazenamento.

Para que possa ser viável em veículos, precisa ter uma autonomia para que a tecnologia seja comerciável. Assim, as maneiras mais utilizadas para armazenar hidrogênio são nas formas gasosa e líquida. Sob a forma gasosa, é necessário um sistema de armazenamento de grande pressão. Na forma líquida, por causa do baixo ponto de ebulição (-252,8°C), é necessário um sistema de criogênico (com baixíssima temperatura: -253°C).

O transporte de hidrogênio também é um desafio, principalmente por ser um elemento explosivo. Poderia ser transportado por gasodutos ou por meio de vasos pressurizados de diferentes capacidades volumétricas e de pressão. Podendo ser transportado sob forma gasosa ou líquida, na forma líquida possui densidade muito superior, mas tem custo adicional do

processo de liquefação do gás em si e a necessidade de equipamentos sofisticados para transporte, em virtude das baixas temperaturas.

3.6 Benéficos ligados ao hidrogênio

Até esta seção foram apresentados: a situação atual da matriz energética mundial baseada no petróleo, os motivos porque o petróleo precisa ser substituído, a alternativa que deve ser adotada, como esta alternativa pode ser produzida e os movimentos mundiais para uma economia limpa. Agora o foco será os benefícios que a energia do Hidrogênio Verde pode proporcionar.

3.6.1 Descarbonização

É o elemento mais abundante da Terra, sua produção quando advinda de fontes renováveis de energia não libera gases do efeito estufa, portanto, permite toda uma produção de energia limpa. Possibilitando o processo de descarbonização, que permitiria um controle maior sobre o aquecimento global. O objetivo geral é diminuir a emissão de gases do efeito estufa, para limitar o aumento médio da temperatura mundial a 2°C, compromisso assinado no Acordo de Paris por 195 países. O hidrogênio é a melhor alternativa para suprir a demanda crescente de energia, e historicamente é possível constatar que a humanidade está caminhando para a “descarbonização” de seus combustíveis, ou seja, do aumento do uso de hidrogênio e da diminuição do uso do carbono (MOREIRA; 2021).

3.6.2 Aumento da cooperação internacional

A economia precisa de investimento, e no momento pós pandemia precisa de reaquecimento. A adoção desta energia poderia estreitar laços entre os países e criar um mercado com participação de mais atores, pois não é uma energia que depende da “sorte” de se possuir reservas de petróleo, mas uma energia que depende em grande parte de tecnologia. Países desenvolvidos possuem investimento e acesso a essas tecnologias, países em desenvolvimento, geralmente, possuem recursos naturais. Em relatório divulgado pela Bloomberg, o Brasil está entre os 28 mercados analisados como provável polo de produção de Hidrogênio verde, ao lado da Argentina e Chile.

O governo alemão e o governo brasileiro, tem reforçado as prioridades da agenda bilateral, como a assinatura e internalização do Acordo de Associação Birregional entre o Mercosul e a União Europeia, para a retomada das negociações para um acordo que evite a dupla tributação e o fortalecimento das políticas energéticas, a Alemanha reconhece o potencial brasileiro em fontes naturais de energia e tem por objetivo aumentar a cooperação entre os países.

3.6.3 Diversificação do mercado mundial

Como analisado, o mundo hoje está mais preocupado com as questões ambientais, não somente as grandes empresas, mas a população também. Por isso, a economia verde está cada vez mais em destaque, passando a ser uma exigência para o consumidor e para o investidor. Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renováveis (IRENA), o redirecionamento da produção de energia para as fontes renováveis, em junção com eficiência energética, poderia impulsionar o PIB em 2,5% e a taxa de emprego em 0,2%.

O mercado de hidrogênio tem ganhado destaque a partir das políticas energéticas pós-pandemia para a retomada da economia e para acelerar a transição energética em diversos países (IEA; 2020b). A pandemia trouxe a maior contração econômica dos últimos 30 anos, resultado das restrições ao comércio mundial, a volta do crescimento dependerá da capacidade de cada mercado para combater a pandemia e as políticas monetárias adotadas, mas também requer mudanças estruturais no modelo de crescimento para que seja mais sustentável.

3.8 Como transformar o potencial brasileiro em um mercado

Como é uma fonte de energia de baixo ou nulo carbono, o processo de adoção do hidrogênio ainda está se consolidando, se o Brasil optar por ser relevante neste mercado, é preciso mais investimento em pesquisas, desenvolvimento e inovação. Principalmente pesquisas ligadas às soluções para os problemas desta energia como o armazenamento, o transporte e a distribuição do hidrogênio. Para isso, parcerias com países com tecnologias mais desenvolvidas fazem parte de medidas adotadas para se progredir neste setor.

Sendo preciso um esforço contínuo, por exemplo, como resposta aos choques do petróleo, foi criado no Brasil programas governamentais para a substituição deste combustível. Surgiram então alguns laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos

ao petróleo, e em 1975, com o incentivo do governo, foi criado o Laboratório do Hidrogênio (LH2). A instituição de pesquisa independente, visava com as pesquisas encontrar uma forma de produzir hidrogênio de maneira eficiente em motores a combustão. Andrade e Lorenzi consideravam que:

[...] a crise acabou e o preço do petróleo caiu, quase todos os projetos foram descontinuados, seus recursos cortados e a maior parte dos laboratórios simplesmente fechou. Todavia, o LH2 continuou. Sem recursos, demitiu praticamente todos os seus funcionários e técnicos, porém, através da infraestrutura instalada no período anterior, continuou subsistindo por meio da venda de hidrogênio para a indústria química. (ANDRADE; LORENZI, 2015, p. 736 apud LAMEIRAS, 2019, p. 45).

Pesquisas não podem ser baseadas apenas em crises passageiras, e sim em um esforço contínuo para melhorar o setor, principalmente quando o país pode ser beneficiado. O Brasil pode ser um grande produtor e exportador de hidrogênio, pelo fato de possuir diferentes fontes de obtenção desta energia. Além disso, essa energia pode contribuir para a redução da importância do petróleo, proteção ambiental, melhoria da qualidade de vida da sociedade e criação de um mercado lucrativo.

Em 2002, o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), lançou o Programa Brasileiro de Hidrogênio e Sistemas Célula a Combustível. Já em 2005, este programa passou a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio. Também em 2005, o Ministério de Minas e Energia coordenou o chamado "Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil", um estudo em conjunto com o MCT, e especialistas da Brasil e do exterior, empresas nacionais e estrangeiras, institutos e centros de pesquisa. O roteiro estabelece metas para os próximos 20 anos e previa o lançamento de um Programa Governamental previsto para 2010.

O Roteiro para a estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil (2005), tinha as seguintes premissas que deveriam nortear a criação de um modelo de desenvolvimento do mercado para o hidrogênio:

- Diversificação da matriz energética brasileira com maior participação de combustíveis renováveis
- Redução dos impactos ambientais, principalmente a poluição atmosférica em grandes centros urbanos

- Redução da dependência de combustíveis fósseis externos
- Produção de hidrogênio a partir do gás natural, para os próximos dez anos
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis
- Desenvolvimento de uma base tecnológica para dar confiabilidade aos consumidores
- Um planejamento da participação da indústria nacional de bens e serviços no desenvolvimento da nova economia

Mas houve alterações nas prioridades governamentais com a descoberta do Pré-sal em 2006, e o Programa Governamental de Produção e Uso do Hidrogênio no Brasil não foi lançado, ainda que outros projetos associados ao hidrogênio continuassem sendo desenvolvidos. Vários projetos tecnológicos associando a universidades e/ou institutos de pesquisa e empresas que tem por objetivo desenvolver aplicações para geração de hidrogênio continuam.

3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho é do tipo exploratória, apresentando características descritivas e explicativas. As pesquisas exploratórias têm por objetivo familiarizar-se com o fenômeno ou obter uma nova percepção dele e descobrir novas ideias (CERVO; BERVIAN DA SILVA; 2007). Portanto, esta pesquisa vai desenvolver estudos que darão uma visão generalizada do fenômeno estudado.

Para pleno desenvolvimento deste trabalho a metodologia adotada foi dividida em três etapas, na primeira etapa é realizada uma ampla pesquisa no âmbito internacional e nacional procurando identificar as problemáticas ligadas à matriz energética que tem a maior parcela de mercado. A segunda etapa tem o foco para a solução que deve ser adotada com base em processos de implementação de tal alternativa por países, governos e empresas, e as dificuldades enfrentadas no seu processo de implementação. A terceira etapa analisa as reflexões e dados sobre os benefícios proporcionados por tal solução, e as possibilidades de mercado existentes para o Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na pesquisa feita, este capítulo pretende expor os resultados encontrados.

5.1 O petróleo deve ser substituído

O petróleo será sim substituído em alguns setores, no entanto ainda não pode deixar de ser utilizado em sua totalidade. É uma energia com preços voláteis, geradora de conflitos e extremamente poluente. Portanto, deve ser adotado um processo de descarbonização, visando a utilização dos recursos naturais com eficiência, ou seja, com emissão zero de gases do efeito estufa, cooperação mundial e diversificação do mercado.

A principal utilização do petróleo está no setor de transportes e de energia residencial, ao incluir alternativas nestes setores o nível de gases do efeito estufa liberados na atmosfera irá diminuir consideravelmente. A figura 10 mostra a emissão de gases do efeito estufa por setor na economia em 2016, medido em toneladas equivalentes de dióxido de carbono. O setor de eletricidade e calor representa a maior parte das emissões, seguida por pelo setor de transportes, manufatura e construção. Esta seria uma média global, alguns países podem variar nesta distribuição, por exemplo, no Brasil a maioria das emissões vem da agricultura e mudanças no uso da terra.

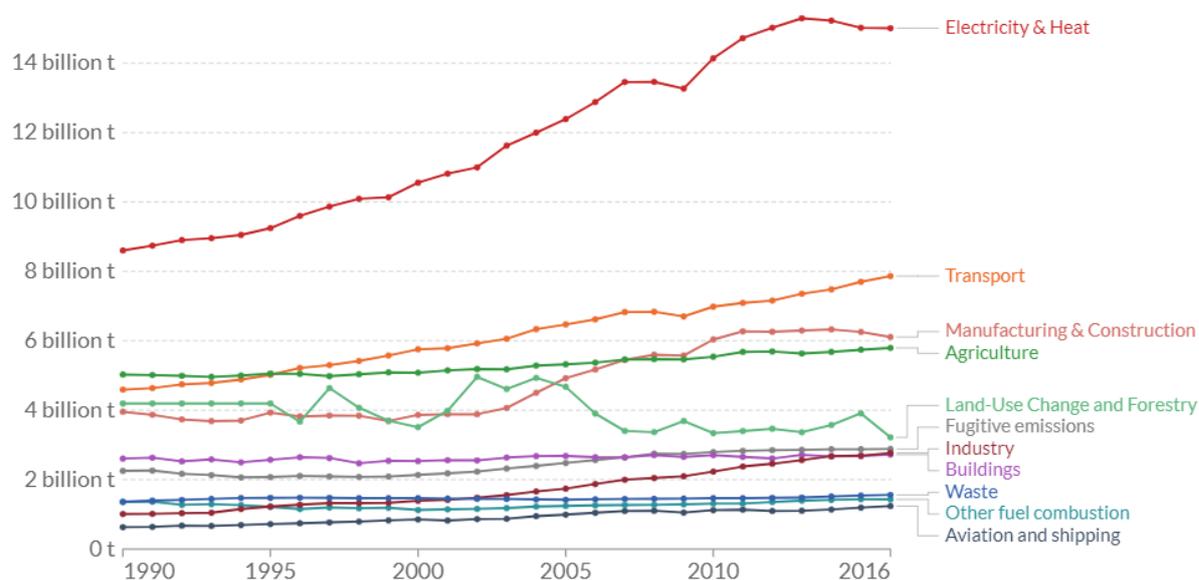


Figura 11 – Emissões de Gases do Efeito Estufa por setor, Mundo

Fonte: CAIT Climate Data Explorer via. Climate Watch

5.2 O melhor substituto: hidrogênio verde

A alternativa que deve ser adotada visando os setores de transporte e eletricidade é o hidrogênio verde, proporcionando melhorias ambientais, sociais e econômicas. Sendo uma

energia totalmente sustentável e versátil, podendo ser transformada em eletricidade ou em combustível, sem emissão de gases poluentes. A adoção desta alternativa, permitiria uma cooperação internacional visto que é preciso ter fontes de energias como solar e eólica, além de tecnologia avançada, o que permitiria a criação de um novo mercado na economia.

5.3 O destaque do Brasil no mercado de hidrogênio

O Brasil tem potencial de ser relevante neste mercado, por apresentar a maior parte da matriz energética advinda de fonte renováveis, abundância de recursos naturais o que permite a produção, hectares para implementação de indústrias para a fabricação da energia e ainda localização estratégica, que facilitaria a exportação. O país tem histórico de interesse neste setor, e conta ainda com atividades de pesquisa e desenvolvimento no tema.

5.4 Precisa de mais investimento em alternativas verde

A implementação do hidrogênio verde apresenta alguns desafios, como: armazenamento e transporte. Por isso, precisa ainda de pesquisa, investimento e desenvolvimento, ou seja, é preciso um plano de ação. O Brasil está abraçando esta oportunidade, e atuando de modo a sanar essas problemáticas, possuindo empresas que atuam neste setor, e grupos de pesquisa em universidades e outras instituições. Outro problema ligado a esta energia, é o custo de produção, mas à medida que países passam a traçar estratégias para a descarbonização e passam a investir neste setor, os preços tendem a cair.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, foi possível concluir que existe uma necessidade de substituir a energia advinda do petróleo, por uma alternativa sustentável que possa beneficiar o meio ambiente, a sociedade e a economia.

O petróleo é atualmente a energia mais importante do mundo, estando presente em diversos setores econômicos, e que pelo fato de ser usado em larga escala é difícil achar um substituto adequado. Por ser tão utilizado, se tornou um recurso estratégico, fazendo com que países que possuem vastas reservas deste recurso possam controlar os preços e o setor. No entanto, possuir petróleo não significa que o país será rico e poderá aproveitar das receitas

advindas deste recurso. Esta é uma energia problemática, que vai se esgotar, que provoca conflitos e ainda é extremamente poluente, por isso a necessidade de adotar uma outra fonte de energia, sendo que essa alternativa deve proporcionar um processo de descarbonização.

Para este processo, o melhor caminho é a economia verde, que não foca apenas na emissão zero de gases do efeito estufa, mas entende que para que a sociedade possa progredir é preciso que as três esferas, economia, sociedade e meio ambiente, estejam em equilíbrio. Por isso, é preciso que ocorra a diminuição desses gases, e ainda, um levante na economia, abrindo caminho para um novo setor, cooperação entre países e melhoria na qualidade de vida da sociedade.

A pandemia do COVID-19, também ressalta a necessidade de não continuar a depender de uma única energia, e os benefícios que o processo de descarbonização pode proporcionar ao meio ambiente. Este período foi marcado pelas medidas adotadas para a contenção do vírus, e a diminuição da circulação de pessoas, conseqüentemente diminuição dos meios de transportes e paralisação de indústrias. Num curto período foi possível ver o quanto estes setores afetam as emissões de gases do efeito estufa, e quando paralisados o quanto estas emissões caíram. O controle do aquecimento global e a necessidade da preservação do meio ambiente, são assuntos extremamente discutidos, e começou a se tornar uma necessidade para países e para a sociedade. Sendo assim, para atingir tal objetivo, a melhor opção é a produção de hidrogênio verde.

O hidrogênio é o elemento mais abundante do planeta, e pode ser produzido de forma que em sua combustão seja eliminado apenas água. Com essa energia é possível iniciar uma mudança nos padrões energéticos mundiais, inserindo uma alternativa sustentável e versátil, já que pode atuar nos principais setores de geração de gases poluentes, de transportes e residencial, e ainda proporcionar novos empregos para a população e diversificação do setor para as empresas. E muitos países já estão investindo em projetos para adoção desta energia.

O Brasil é um dos países que está investindo na economia verde, sendo um país com abundância de recursos naturais, o que permite a produção do hidrogênio verde, tendo excelente localização para possíveis exportações de tal energia, e boas relações com os principais interessados neste recurso. Por isso, o país já está fechando parcerias para a criação de usinas e investindo em pesquisas, pois ainda é uma energia que enfrenta desafios, como transporte e armazenamento.

Apesar de ser a alternativa mais viável, o hidrogênio verde não é a alternativa que irá substituir totalmente a utilização do petróleo. A era do petróleo terá fim, ele será substituído como a principal energia mundial, mas isso será feito com a adoção de um processo, sendo

substituído nos setores em que pode ser substituído, mas ainda existem setores como a indústria farmacêutica, por exemplo, que não existe um substituto. Então, sim a era do petróleo terá fim, ele será cada vez menos utilizado com a adoção da energia do hidrogênio, mas a sociedade não deixará de utilizar e produzir petróleo, mas utilizará os recursos naturais de forma que o planeta consiga suportar está utilização, ou seja, passará a utilizar os recursos de forma eficiente, com diminuição de gases do efeito estufa, tendo então, maior controle da temperatura mundial. E a sociedade ainda poderá se beneficiar de uma melhoria na qualidade de vida aliada a um novo ciclo econômico com possibilidade de crescimento, principalmente para países que possuem abundância de recursos naturais, como é o caso do Brasil.

REFERÊNCIAS

ROSS, M. L. A maldição do petróleo: como a riqueza petrolífera molda o desenvolvimento das nações. 1ª edição. Citadel Editora, 30 julho 2015.

MOREIRA, JOSÉ ROBERTO S. Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. 2ª edição. LTC, 19 março 2021.

MOREIRA, JOSÉ ROBERTO S. Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. 1ª edição. LTC, 4 maio 2017.

MAY, PETER. Economia do meio ambiente. 3ª edição. GEN LTC, 8 agosto 2018.

GOLDEMBERG, JOSÉ; PALETTA, FRANCISCO C. Energias renováveis. 1ª edição. Blucher, 1 janeiro 2011.

PHILIPPI, ARLINDO JR; REIS, LINEU BELICO. Energia e sustentabilidade. Manole, 3 agosto 2021.

FARAH, MARCO ANTÔNIO. Petróleo e seus derivados. 1ª edição. LTC, 21 agosto 2012.

ROSA, ALDO. Processos de energias renováveis. 1ª edição. GEN LTC, 12 setembro 2014

HINRICHS, ROGER A.; KLEINBACH, MERLIN; REIS, LINEU BELICO. Energia e meio ambiente. 3ª edição. Cengage Learning, 28 março 2014.

O pico do petróleo em português claro, 2017. Disponível em: < <http://www.transicaoportugal.net/wp-content/uploads/2015/02/O-pico-do-petr%C3%B3leo-em-portugu%C3%AAs-claro.pdf> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Programa nacional do hidrogênio, 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogenioRelatriodiretrizes.pdf> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio, 2021. Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf) > Acesso em: 04 Nov. 2021

Resenha energética brasileira, 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergticaExerccio2020final.pdf> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrogênio energético no Brasil, 2010. Disponível em: < https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5 > Acesso em: 04 Nov. 2021

A teoria da maldição dos recursos naturais e a nova agenda de pesquisa, 2011. Disponível em: < http://www.abri.org.br/anais/3_Encontro_Nacional_ABRI/Economia_Politica_Internacional/ >

EPI%205_Marcelo%20Lima%20A%20TEORIA%20DA%20MALDI+%E7+%E2O%20DOS%20RECURSOS%20NATURAIS%20E%20A%20NOVA.pdf > Acesso em: 04 Nov. 2021

A new world, 2019. Disponível em: < https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf > Acesso em: 04 Nov. 2021

O hidrogênio como vetor de energia, 2019. Disponível em: < http://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=1d8b37a8-a0d4-deee-74fe-02f4e4abc65d&groupId=36208 > Acesso em: 04 Nov. 2021

La geopolítica del petróleo, 2021. Disponível em: < <http://www.cialc.unam.mx/pdf/Geopolitica%20del%20Petroleo.pdf> > Acesso em: 04 Nov. 2021

O hidrogênio verde: uma alternativa para reduzir as emissões e cuidar do nosso planeta, 2021. Disponível em: < <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde> > Acesso em: 04 Nov. 2021

O que é o hidrogênio verde — e por que ele promete ser o combustível do futuro, 2021. Disponível em: < <https://www.capitalreset.com/o-que-e-o-hidrogenio-verde-e-por-que-ele-promete-ser-o-combustivel-do-futuro/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Eletricidade do hidrogênio, 2004. Disponível em: < <https://revistapesquisa.fapesp.br/eletricidade-do-hidrog%C3%AAnio/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Carro a hidrogênio: saiba como funciona e quais são as vantagens e desvantagens, 2021. Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/business/carro-a-hidrogenio-saiba-como-funciona-e-quais-sao-as-vantagens-e-desvantagens/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Entenda como o hidrogênio verde vai transformar as indústrias, 2021. Disponível em: < <https://umsoplaneta.globo.com/patrocinado/engie/noticia/2021/06/25/entenda-como-o-hidrogenio-verde-vai-transformar-as-industrias.ghtml> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Green hydrogen not profitable yet, but major investments may spur technology development, 2020. Disponível em: < <https://balkangreenenergynews.com/green-hydrogen-not-profitable-yet-but-major-investments-may-spur-technology-development/#:~:text=Green%20hydrogen%20not%20profitable%20yet%2C%20but%20major%20investments%20may%20spur%20technology%20development> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrógeno verde: 6 países que lideran la producción de una de las "energías del futuro", 2021. Disponível em: < <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56531777> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrogênio verde, o combustível do futuro, terá expansão de 50 vezes nos próximos 5 anos, 2021. Disponível em: < <https://meioinfo.eco.br/hidrogenio-verde-combustivel-do-futuro-tera-expansao-50-vezes-5-anos/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Por que a Alemanha tem interesse no hidrogênio verde brasileiro, 2021. Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2021/04/por-que-alemanha-tem-interesse-no-hidrogenio-verde-brasileiro.html> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrogênio verde é o combustível do futuro, 2021. Disponível em: < <https://umsoplaneta.globo.com/patrocinado/engie/noticia/2021/10/04/hidrogenio-verde-e-o-combustivel-do-futuro.ghtml> > Acesso em: 04 Nov. 2021

So, What Exactly Is Green Hydrogen, 2020. Disponível em: < <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-hydrogen-explained> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrogênio verde pode movimentar US\$ 20 bi por ano no Brasil até 2040, estima Air Products, 2021. Disponível em: < <https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-pode-movimentar-us-20-bi-por-ano-no-brasil-ate-2040-estima-air-products/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Enagas, BP e Iberdrola fecham acordo para elaboração de empreendimento de hidrogênio verde, 2021. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/enagas-bp-e-iberdrola-fecham-acordo-para-elaboracao-de-empreendimento-de-hidrogenio-verde.html> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Ceará receberá a primeira usina de hidrogênio verde do Brasil com operação já em 2022, 2021. Disponível em: < <https://www.ceara.gov.br/2021/09/01/ceara-recebera-a-primeira-usina-de-hidrogenio-verde-do-brasil-com-operacao-ja-em-2022/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

O mundo na era do hidrogênio, 2003. Disponível em: < <https://agencia.fapesp.br/o-mundo-na-era-do-hidrogenio/615/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020, 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Aumento da produção de combustível fóssil vai minar meta climática, 2021. Disponível em: < <https://www.dw.com/pt-br/aumento-da-produ%C3%A7%C3%A3o-de-combust%C3%ADvel-f%C3%B3ssil-vai-minar-meta-clim%C3%A1tica-alerta-onu/a-59562984> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Pandemia e Meio Ambiente: Impactos momentâneos ou nova normalidade, 2020. Disponível em: < <https://www2.ufjf.br/noticias/2020/04/24/pandemia-e-meio-ambiente-impactos-momentaneos-ou-nova-normalidade/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Hidrogênio combustível: a chave para um futuro neutro em carbono, 2021. Disponível em: < <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/hidrogenio-a-chave-para-um-futuro-neutro-em-carbono/> > Acesso em: 04 Nov. 2021

Do cinzento ao verde, passando pelo azul. Porque tem o hidrogénio tantas cores, 2020. Disponível em: < <https://eco.sapo.pt/2020/07/30/do-cinzento-ao-verde-passando-pelo-azul-porque-tem-o-hidrogenio-tantas-cores/> > Acesso em: 04 Nov. 2021