



UNILAB

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA

AFRO-BRASILEIRA

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

NOÉ SABA NBUNDÉ

SITUAÇÃO ATUAL DO USO DO HIDROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DA ENERGIA

ELÉTRICA NA ÁFRICA

REDENÇÃO-CE

FEVEREIRO DE 2022

NOÉ SABA NBUNDÉ

SITUAÇÃO ATUAL DO USO DO HIDROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DA ENERGIA
ELÉTRICA NA ÁFRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moïse
BANDIRI

REDENÇÃO-CE
FEVEREIRO DE 2022

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

Nbunde, Noé Saba.

N337s

Situação atual do uso do hidrogênio para produção da energia elétrica na África / Noé Saba Nbunde. - Redenção, 2022.
53f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI.

1. Energia elétrica - Produção. 2. Hidrogênio Verde. 3. Matriz Energética. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 621.042

NOÉ SABA NBUNDÉ

SITUAÇÃO ATUAL DO USO DO HIDROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DA ENERGIA
ELÉTRICA NA ÁFRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Profa. Dra. Rejane Felix Pereira
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Tales Paiva Nogueira
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

À alma do meu falecido Pai, à minha querida Mãe e à minha família em geral, por sua capacidade de acreditar, investir e por tudo que fizeram por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento Primeiramente, a Deus pelo dom da vida, por sempre estar presente no meu dia a dia, amparando-me nos momentos de dificuldade e guiando toda a minha trajetória de vida. À minha família, que sempre confiou e me apoiou durante todo esse tempo, em especial, ao meu querido Pai, Joãozinho Saba Nbundé, que hoje não está entre nós, a quem sempre tive maior admiração, pelo homem que foi, quem sempre me ensinou a priorizar os valores da vida, acredito que sentiria muito orgulho do seu filho, se estivesse aqui.

A minha querida mãe, Sábado Bieca, a quem devo muito favor, por ceder a sua juventude em prol do bem-estar dos seus filhos, pelo amor e carinho incondicional, pelas paciências e esforços nos momentos difíceis. Aos meus irmãos/as, primos/as, sobrinhos/as, tios/as que sempre estiveram do meu lado.

Estendo os meus agradecimentos ao governo da República Federativa do Brasileiro, ao governo da República da Guiné-Bissau, a Universidade da Integração Internacional Afro-Brasileira - UNILAB, ao meu Orientador Prof. Dr. Sabi Yari Moïse Bandiri, pelos conselhos ao longo do tempo, pelos apoios e por fazer concretizar este trabalho, a todos os professores/as do Instituto da Engenharia e Desenvolvimento Sustentável – IEDS, em especial a Profa. Dra. Rejane Felix Pereira, que sempre me apoiou durante o percurso.

Para fechar, aos meus amigos, minhas amigas e a todos que de uma forma direta ou indireta estiveram ao meu lado durante todo este tempo, fazendo cada momento que seja um aprendizado, meu muito obrigado!

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.”

(Provérbios 16:3)

RESUMO

Este trabalho trata sobre potencial do uso do hidrogênio verde para a produção da energia elétrica no continente africano, e uma análise do contexto atual em relação a produção deste combustível em larga escala. Para chegar a este ponto, foi feita uma pesquisa bibliográfica dos temas relacionados as fontes de energia renováveis, matriz energética mundial, brasileira e africana. Também, abordou-se sobre hidrogênio, as principais tecnologias de produção do hidrogênio verde, seu custo, transporte, armazenamento e uma breve comparação com alguns combustíveis convencionais. O trabalho ainda apresenta o estágio do hidrogênio verde na África, o potencial que há naquele continente, a situação individual de alguns países, como estão posicionados em relação a situação global, as parcerias feitas sobre hidrogênio verde com grandes parceiros para desenvolver este setor. Em seguida, o trabalho mostra as perspectivas do hidrogênio verde em relação ao mercado global, o trabalho conclui que o hidrogênio verde está em um bom caminho para disputar futuramente o mercado e contribuir bastante para redução da emissão de Gases de Efeito estufa - (GEE) e depois sugere os trabalhos que podem ser feitos futuramente.

Palavras-chave: Produção. Hidrogênio Verde. Matriz Energética. Energia Elétrica.

ABSTRACT

This work deals with the possible potential of the use of green hydrogen for the production of electric energy in the African continent, analyzing the current context in relation to the production of this fuel on a large scale. To reach this point, a bibliographical research was carried out on topics related to renewable energy sources, global, Brazilian and African energy matrix. Also, hydrogen, the main technologies of green hydrogen production, its cost, transport, storage and a brief comparison with some conventional fuels were discussed. The work also presents the stage of green hydrogen in Africa, the possible potential that there is in that continent, the individual situation of some countries, how they are positioned in relation to the global situation, the partnerships made on green hydrogen with great partners to develop this sector. Then, the work showed the prospects of green hydrogen in relation to the global market, the work concluded that green hydrogen has everything to dominate the market in the future and contribute a lot to reduce the emission of GREENHOUSE GASES (GHG) and then suggested the works that can be done in the future.

Keywords: Production. Green Hydrogen. Energy Matrix. Electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeções da População Mundial, Revisões de 2015 e 2017 da Organização das Nações Unidas (ONU).	17
Figura 2 – Consumo Global de Energia Primária por Fonte (2010-2050) quadrilhão de unidades térmicas Britânicas.	17
Figura 3 – Matriz Energética Mundial.	18
Figura 4 – Matriz Elétrica Mundial.	19
Figura 5 – Matriz Energética Brasileira.	20
Figura 6 – Matriz Elétrica Brasileira.	20
Figura 7 – Matriz Energética Africana.	21
Figura 8 – Matriz Elétrica Africana.	22
Figura 9 – Gráfico do Crescimento da Capacidade Renovável Entre 2019 e 2024.	23
Figura 10 – Principais Processos de Produção de Hidrogênio.	28
Figura 11 – Produção de Hidrogênio Baseada em Fonte de Energia Solar Fotovoltaica.	30
Figura 12 – Atlas Solar Global.	35
Figura 13 – Atlas Eólico Global.	35
Figura 14 – Visão Geral das Atuais Iniciativas de Hidrogênio Verde no Marrocos.	38
Figura 15 – Recursos Energéticos Primário em TJ.	39
Figura 16 – Mapa da África do Sul.	40
Figura 17 – Imagem de Satélite do Google Earth da Área de Bourakebougou (Mali). Os números e posições dos poços são mostrados com círculos.	41
Figura 18 – Demanda Global de Hidrogênio por Setor no Cenário Zero Líquido 2020-2030.	45
Figura 19 – Demanda Global de Hidrogênio por Tecnologia de Produção no Cenário Zero Líquido 2020-2030.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedade de Combustíveis Convencionais e Alternativas.	27
Tabela 2 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Produção de Hidrogênio. . . .	29
Tabela 3 – Comparação de Armazenamento de Hidrogênio a Bordo.	32
Tabela 4 – Custo Estimado de Produção de Hidrogênio, Transporte e Distribuição . . .	33
Tabela 5 – Projetos de Energia Eólica na África do Sul.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASEAN	Associação das Nações do Sudeste Asiático
CCU	Captura e Uso de Carbono
COVID-19	Doença Causada pelo Novo Coronavírus
EFW	Energia a Partir do Resíduos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FeTi	Ferro Titânio
gal.	Galão
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	Greenhouse Gases
IEA	Agência Internacional de Energia
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
IRESN	Instituto Marroquino de Pesquisa em Energia Solar e Novas Energias
MASEN	Agência Marroquina de Energia Sustentável
NZE	Emissões Líquidas Zero
ONU	Organização das Nações Unidas
PSH	Energia Hidrelétrica de Armazenamento Bombeado
SDS	Cenário de Desenvolvimento Sustentável
UE	União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Mt</i>	Tonelada Métrica
<i>MJ</i>	Megajoule
<i>TJ</i>	Terajoule
<i>TWh</i>	Terawatt-hora
<i>GW</i>	Gigawatt
<i>kWh</i>	Quilowatts hora
<i>GWh</i>	Gigawatt-hora
<i>MW</i>	Megawatt
<i>Kg</i>	Quilograma
<i>Km</i>	Quilômetro
<i>m</i>	Metro
<i>s</i>	Segundo
<i>g</i>	Gramma
<i>bar</i>	Bar
<i>\$</i>	Cifrão
<i>K</i>	Kelvin
<i>°C</i>	Grau Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	14
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	14
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	14
1.2	Organização do Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Matriz Energética Mundial	16
<i>2.1.1</i>	<i>Matriz Energética do Brasil</i>	19
<i>2.1.2</i>	<i>Matriz Energética Africana</i>	21
2.2	Fontes Energéticas Renováveis	21
<i>2.2.1</i>	<i>Energia Solar</i>	22
<i>2.2.2</i>	<i>Energia Hidráulica</i>	23
<i>2.2.3</i>	<i>Energia Eólica</i>	24
<i>2.2.4</i>	<i>Biocombustíveis</i>	25
3	HIDROGÊNIO	26
3.1	Produção do Hidrogênio	27
<i>3.1.1</i>	<i>Principais Processos de Produção de Hidrogênio</i>	28
<i>3.1.1.1</i>	<i>Termoquímico</i>	29
<i>3.1.1.2</i>	<i>Eletrolítico</i>	30
<i>3.1.1.3</i>	<i>Fotolítico</i>	31
<i>3.1.1.4</i>	<i>Bio-processos</i>	31
3.2	Uso do Hidrogênio Para Produção da Energia Elétrica	31
<i>3.2.1</i>	<i>Transporte e Armazenamento</i>	32
<i>3.2.2</i>	<i>Custo</i>	32
4	HIDROGÊNIO NA ÁFRICA	34
4.1	Situação Africana	34
4.2	Marrocos	36
4.3	Africa do Sul	38
4.4	Mali	40
4.5	Demais Países Africanos	41

5	PERSPECTIVAS	44
6	CONCLUSÃO	48
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda energética é impulsionado pelas mudanças demográficas, o que conseqüentemente faz aumentar a poluição ambiental. Isso porque, mais da metade das fontes energéticas que compõem a matriz energética mundial é composta pelas fontes emissoras de grande quantidade de CO_2 . Logo, com a crescente emissão deste gás liquefeito, há uma grande preocupação mundial em conseguir uma saída que visa mitigar significativamente esta prática para o bem da humanidade.

Baseado nisso, este trabalho pretende explicar sobre o uso do hidrogênio verde para a produção da energia elétrica no continente africano. O hidrogênio verde que é um combustível que vem sendo há anos o centro das atenções devido o seu benefício em prol do meio ambiente. Também o trabalho pretende mostrar especificamente as contribuições que o hidrogênio verde pode dar, discutir possíveis potenciais deste combustível no continente africano e apresentar as suas perspectivas em relação ao mercado internacional. Lembrando que África é muito rico em energias renováveis, principalmente solar, eólica e hidráulica, as energias que são bases para produção do hidrogênio verde. Também este trabalho fala dos conceitos sobre energias renováveis, nomeadamente hidráulica, eólica, solar e biocombustíveis, como aplicar estas fontes para produção do hidrogênio verde, visando a produção da energia elétrica.

Este trabalho traz à tona um assunto menos abordado e que precisa de muita atenção perante os desafios do futuro energético mundial. O trabalho fala do continente africano, que é uma peça chave para futuros desafios energéticos, devido as suas energias renováveis. Também é abordado sobre as principais tecnologias usadas para produção do hidrogênio e uma breve comparação do teor energético com outros combustíveis convencionais.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo Geral*

Este trabalho tem como objetivo geral, analisar o uso do hidrogênio para produção da energia elétrica na África.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

Como objetivos específicos, o trabalho tem:

- Mostrar possível contribuição no processo de descarbonização do hidrogênio verde;
- Analisar possível potencial e situação atual para produção do hidrogênio verde na África;
- Mostrar as perspectivas do hidrogênio verde no contexto global.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho é constituído de 7 capítulos e está organizado de seguinte maneira, no capítulo 1 é feita a introdução, objetivos e é mostrado a organização do trabalho. Já no capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, onde é apresentada as matrizes energéticas mundial, do Brasil e da África. Algumas fontes de energia renováveis também foram mostradas neste capítulo. No capítulo 3 é feita uma apresentação do hidrogênio, os seus principais processos de produção, transporte, armazenamento e custo. No capítulo 4, é abordado sobre a situação do hidrogênio na África, mais a frente é detalhado a situação de alguns países que estão mais avançados neste contexto nomeadamente Marrocos, África do Sul e Mali, na seção demais países, é sintetizado situação de outros países. No capítulo 5, é apresentado a perspectiva do hidrogênio verde em relação ao mercado global. Já no capítulo 6 é feita a conclusão do trabalho e no capítulo 7 é sugerido os trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Matriz Energética Mundial

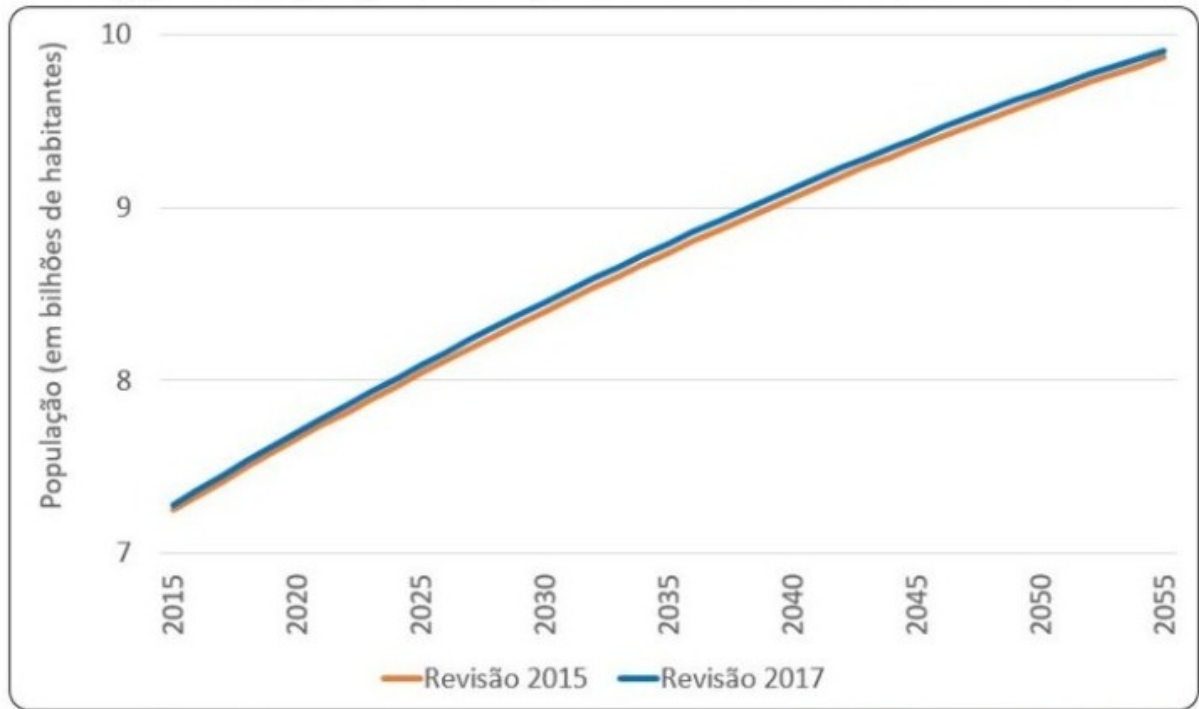
A interação do homem com a energia propriamente dita começou a milhares de anos atrás com a descoberta do fogo, fato que propiciou uma grande melhoria na qualidade de vida. A queima de matéria orgânica possibilitava o aquecimento necessário, o cozimento de alimentos e a iluminação (LAMEIRAS, 2019). E, até hoje, essa interação com a energia, vem crescendo, ou seja, a demanda global da energia cresceu exponencialmente, o que podemos dizer que está proporcionalmente direta com o crescimento da população global e ao mesmo tempo, com o aumento das indústrias e necessidades domésticas. É importante salientar que não só a demanda cresceu, porém, a matriz energética evoluiu bastante, ao longo do tempo. Porque, é notável que está dando passos junto com o desenvolvimento da tecnologia global.

A estrutura de oferta e demanda setorial de energia, contemplando as diferentes fontes primárias e secundárias, bem como os diversos usos no sistema socioeconômico, constitui o que usualmente se chama de matriz energética (NOGUEIRA; CARDOSO, 2007). As energias provenientes dessas fontes são destinadas para diferentes fins, como cozinha, transporte, iluminação, refrigeração e muitas outras atividades humanas. Na Figura 1, é mostrado o gráfico da projeção do crescimento da população mundial do ano 2015 até 2055. Estima-se em ambas as revisões uma população mundial de aproximadamente 10 bilhões nas próximas 3 décadas. Consequentemente é possível constatar na Figura 2 que a demanda energética vai aumentando em função do crescimento da população de acordo à (ADMINISTRATION, 2021). Também na Figura 2, é possível observar que a projeção da demanda para os próximos anos será suprido com a contribuição de diferentes fontes de energia, porém, com a destaque da energias renováveis que crescerá mais.

Como já mostrado nas seções acima, a matriz energética mundial está composta por diferentes fontes, principalmente as não renováveis. Sabemos que qualquer atividade humana rende um certo impacto ao meio ambiente, a geração da energia, assim como qualquer outra atividade, não é um ponto fora de linha, porém, há diferenças entre as fontes geradoras de energias, sendo que algumas têm menos impactos em relação as outras.

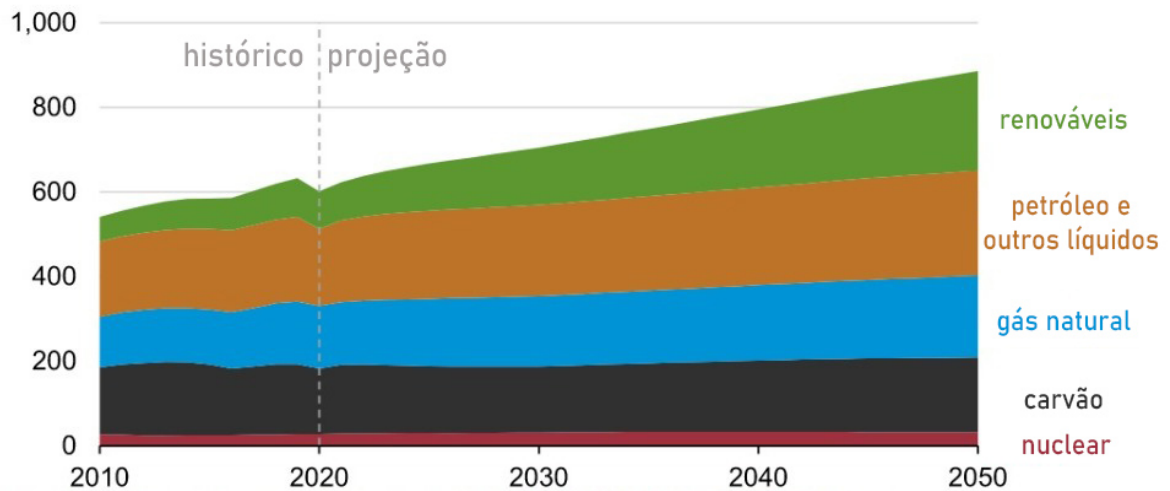
Devido à poluição ambiental, a matriz energética mundial vem sofrendo alterações ao longo do tempo, em busca das fontes mais sustentáveis, o que faz com que essas fontes consideradas menos impactantes, estão ganhando força a cada dia. Em 2018, a *Agência Inter-*

Figura 1 – Projeções da População Mundial, Revisões de 2015 e 2017 da ONU.



Fonte: (POPULACIONAIS, 2017)

Figura 2 – Consumo Global de Energia Primária por Fonte (2010-2050) quadrilhão de unidades térmicas Britânicas.



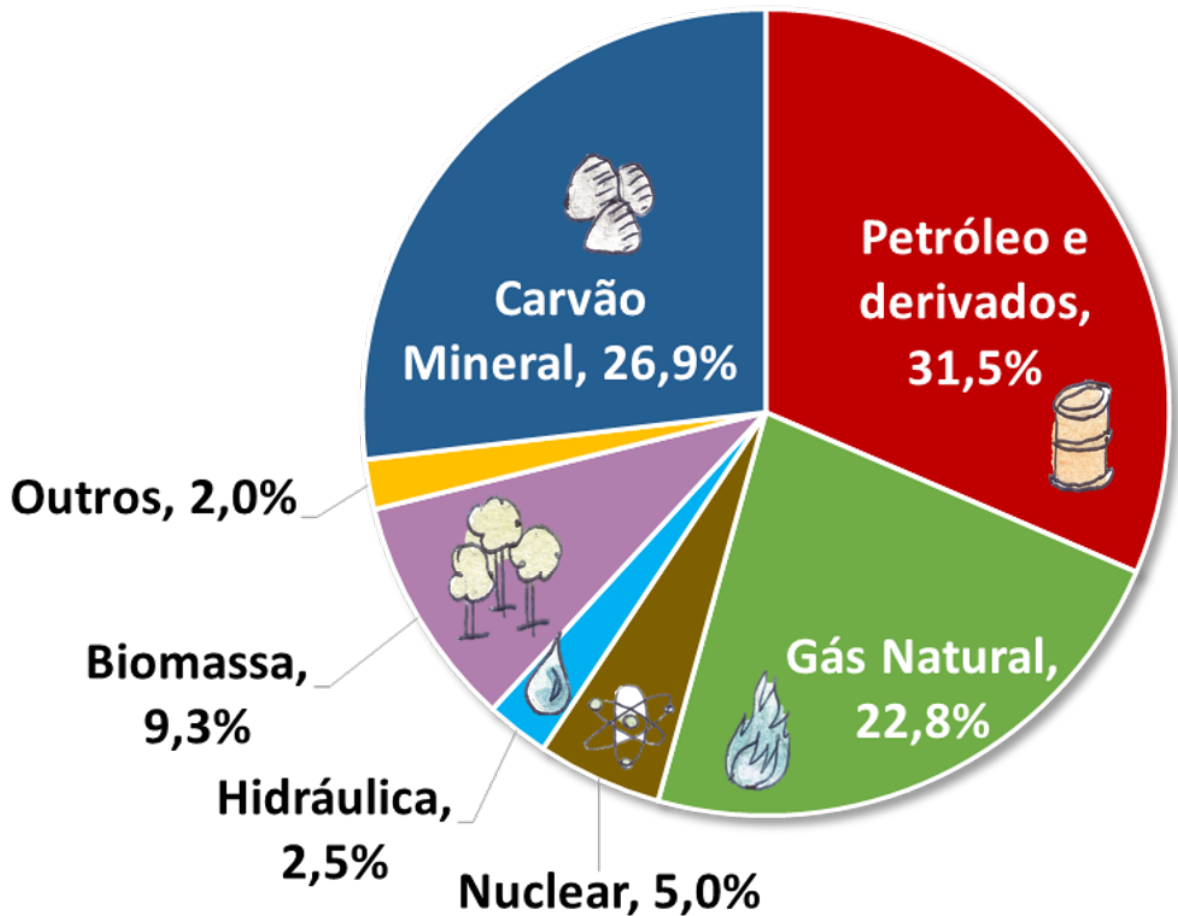
Fonte: (ADMINISTRATION, 2021)

nacional de Energia (IEA) publicou um relatório, onde mostrou como é constituída a matriz energética mundial, o que posteriormente algumas partes foram publicadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), como pode ser visto na Figura 3.

Na base dos dados apresentados na Figura 3, onde carvão, petróleo e gás natural juntos, têm aproximadamente 81,2%, e, é notável a fraca contribuição das fontes renováveis, o que provoca muita preocupação a humanidade.

A matriz energética é muito confundida com a matriz elétrica, porém, são duas coisas

Figura 3 – Matriz Energética Mundial.

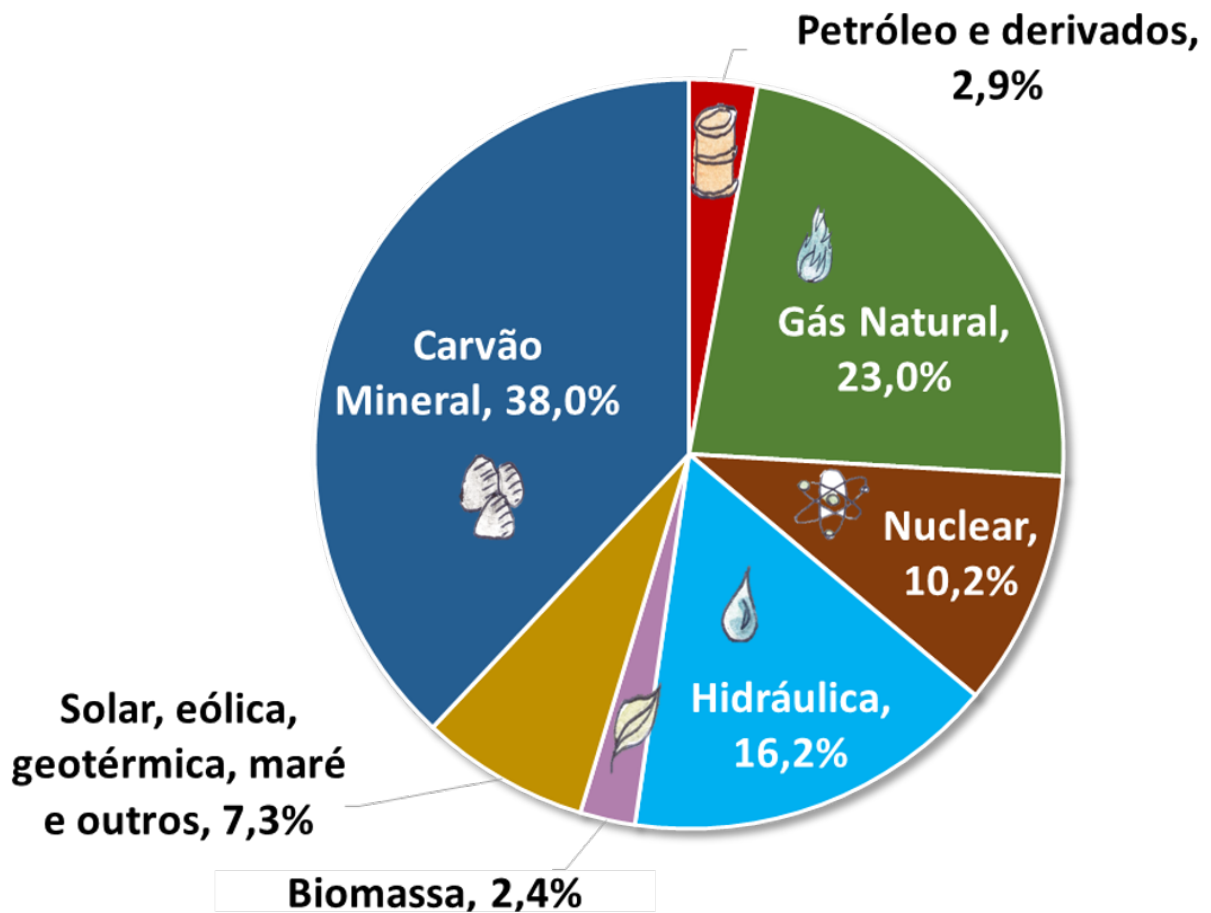


Fonte: (EPE, 2021)

distintas, apesar de uma estar dentro de outra, isso não quer dizer que são a mesma coisa. A matriz energética é um conjunto de fontes de energia ofertadas no país ou numa determinada região para utilizar nos diferentes setores. Também representa a quantidade de energia disponível no país ou região. Enquanto que a matriz elétrica é um conjunto das fontes utilizadas para produzir a energia elétrica.

Como já explicada no paragrafo anterior, o que auxilia no esclarecimento do que chamamos de matriz energética. Quando se fala da matriz elétrica, se trata de uma matriz de fontes destinadas apenas para energia elétrica em uma determinada região ou um país, usamos energia elétrica para assistir TV, recarregar as baterias dos nossos celulares, notebooks, ligar as nossas geladeiras, acender as lâmpadas entre outros fins. A Figura 4 mostra como está constituída a matriz elétrica mundial, onde percebe-se a uma participação mais considerável em relação a matriz energética, aqui somando as porcentagens delas, as fontes renováveis têm quase 30% de contribuição na matriz elétrica mundial.

Figura 4 – Matriz Elétrica Mundial.



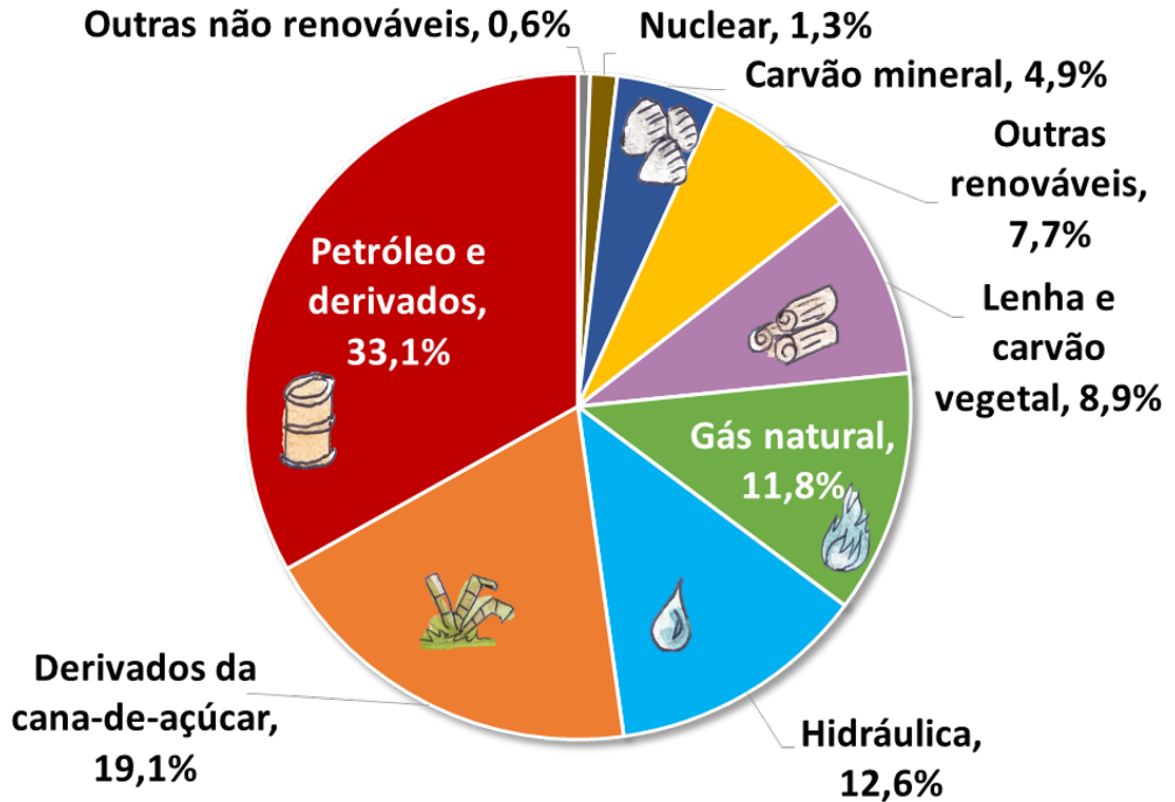
Fonte: (EPE, 2021)

2.1.1 Matriz Energética do Brasil

O Brasil tem a menor média de emissão dos gases do efeito estufa em relação a média mundial por habitante, por isso é considerado a mais limpa quando é comparada com a matriz mundial. "A Figura 4 mostra a composição da matriz energética brasileira. A matriz tem a representação de aproximadamente metade das fontes renováveis, 48,3%. Através das informações do gráfico, fica claro que a matriz energética brasileira tem mais fontes renováveis em comparação com as matrizes mundial e africana."(EPE, 2021).

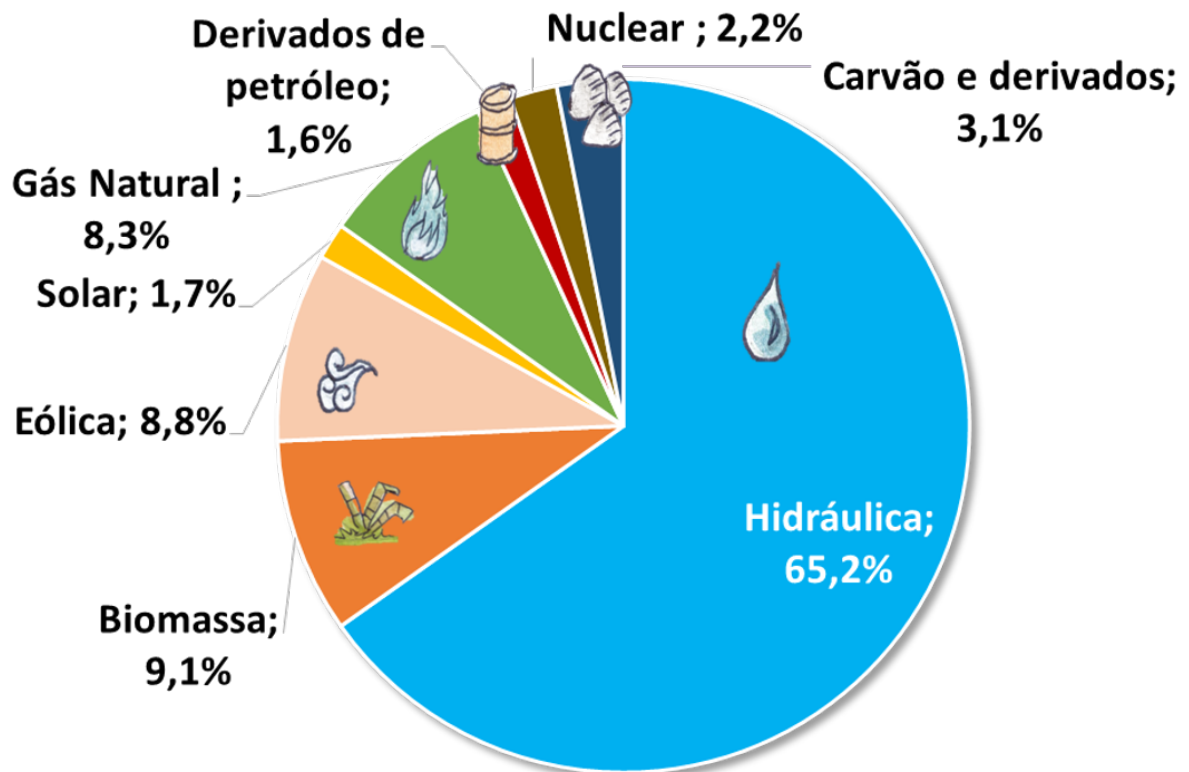
A matriz elétrica brasileira é mais renovável em comparação com a matriz energética do mesmo país, a grande parcela das fontes que a compõem são renováveis, representam 83% na matriz elétrica, como mostra a Figura 6. Comparando a matriz elétrica brasileira com a elétrica mundial e africana, a matriz elétrica brasileira apresenta fontes mais renováveis.

Figura 5 – Matriz Energética Brasileira.



Fonte: (EPE, 2021)

Figura 6 – Matriz Elétrica Brasileira.

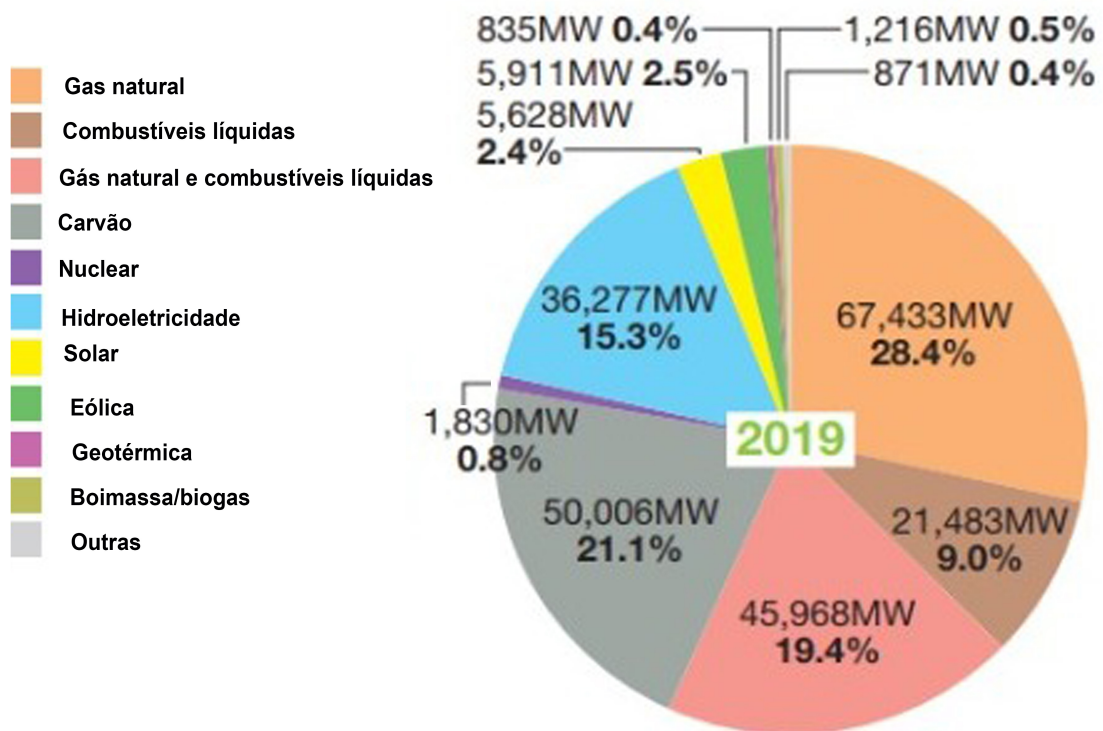


Fonte: (EPE, 2021)

2.1.2 Matriz Energética Africana

Com todas as barreiras encaradas na África, principalmente a África Subsaariana, de gerar energia, os países africanos têm trabalhado muito para atingir uma certa meta, a universalização da energia elétrica naquela região. A Figura 7 mostra a matriz energética africana do ano 2019, que é dominado pelas fontes não renováveis, ou seja, só tem uma participação de aproximadamente 21% da fonte renováveis. A matriz elétrica africana está num bom caminho, apesar de ter mais fontes não renováveis, porém, tem uma boa fatia das fontes renováveis, 21,16%, como mostra a Figura 8 o que pode ser muito considerável num total de 227,028MW.

Figura 7 – Matriz Energética Africana.

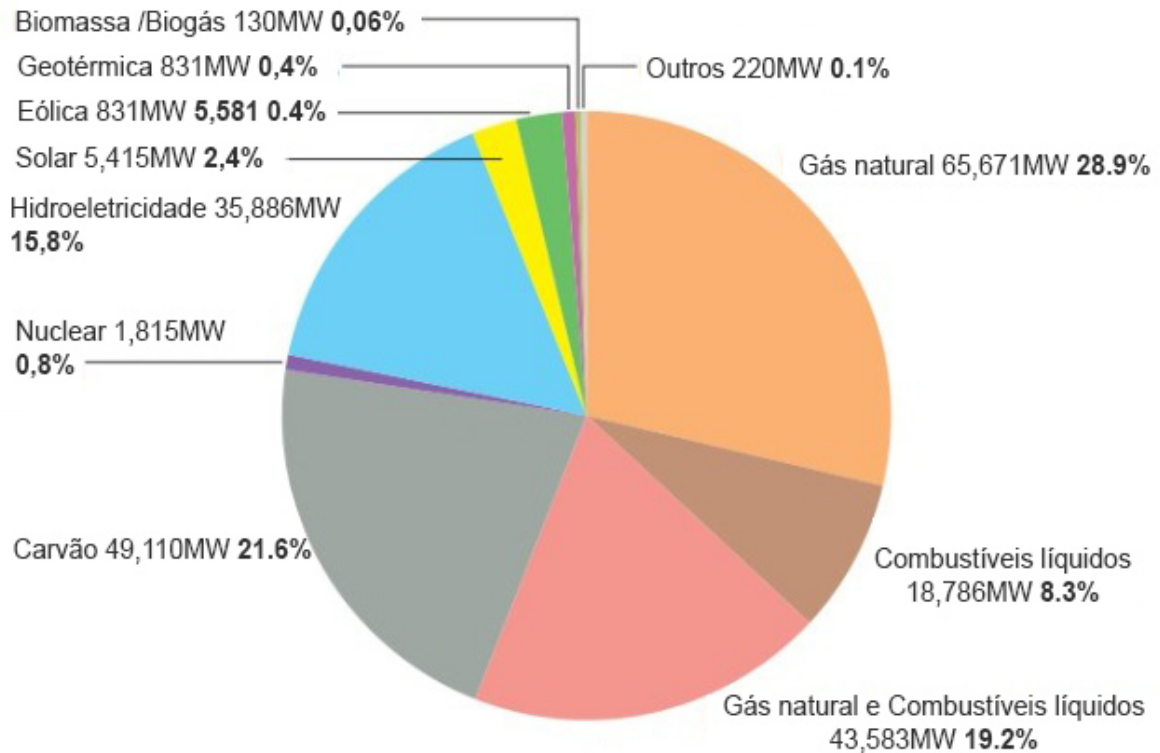


Fonte: (CARN, 2021)

2.2 Fontes Energéticas Renováveis

Com o passar do tempo, devido a necessidade da transição energética para as fontes mais sustentáveis, muitas fontes da energia foram desenvolvidas, produzindo uma grande quantidade de energia, e passaram a fazer parte da matriz energética mundial, o que antes era dominada pelos combustíveis fósseis. As denominadas fontes renováveis, hídrica, solar, eólica,

Figura 8 – Matriz Elétrica Africana.



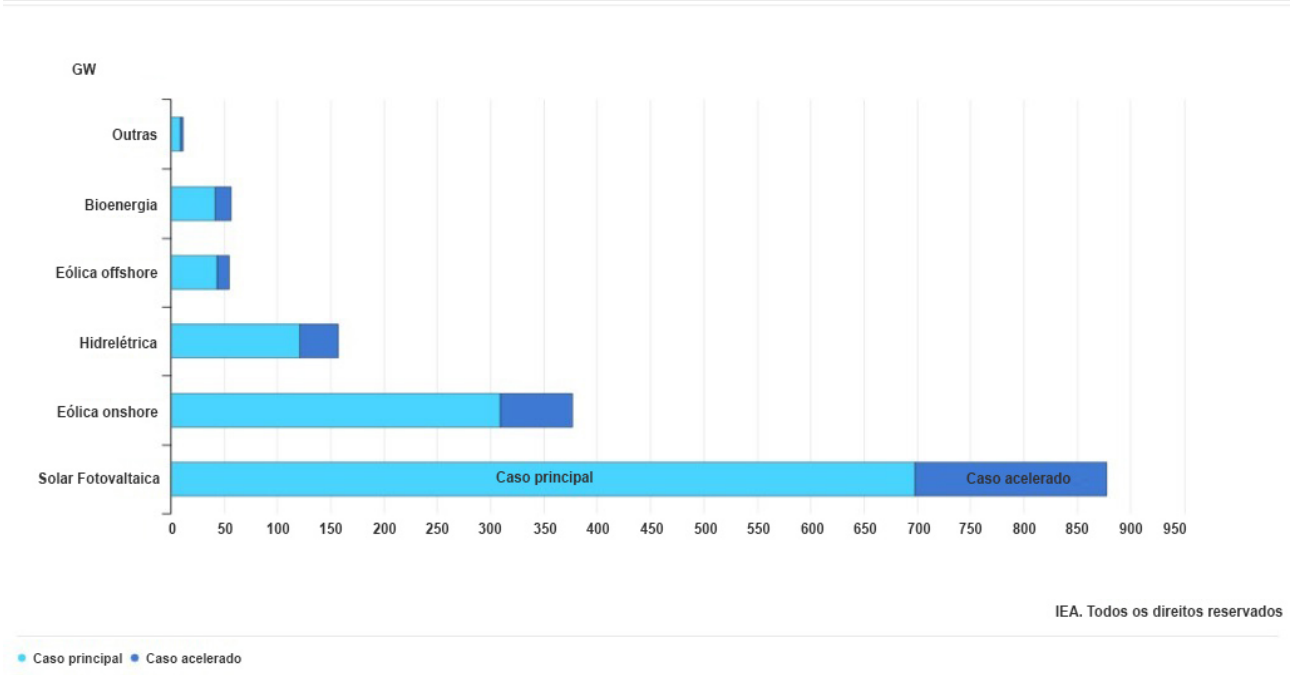
Fonte: (CARN, 2021)

biocombustíveis e outras, ganharam e ganham protagonismo a cada dia que passa. Baseando nos estudos feitos, é bem claro que essas fontes ainda vão crescer muito e com uma velocidade considerável. Logo em seguida, a Figura 9 apresenta um gráfico do crescimento das fontes renováveis entre 2019 e 2024, com a última atualização no novembro de 2019, proveniente da IEA.

2.2.1 Energia Solar

A energia solar é a fonte inesgotável, o aproveitamento da energia através desta fonte pode ser de diferentes maneiras, através de células fotovoltaicas, transformando o raio solar em energia, também é usado para acumular o raio solar em um determinado ponto provocando o aumento da temperatura ou calor para que isso possa ser aproveitado depois. A geração da energia solar fotovoltaica aumentou 22% (+131 TWh) em 2019 e representou o segundo maior crescimento absoluto da geração de todas as tecnologias renováveis, um pouco atrás da eólica e à frente da energia hidrelétrica. Apesar da desaceleração do crescimento devido às recentes mudanças de política e incertezas na China (o maior mercado fotovoltaico globalmente), 2019 foi um ano de crescimento global recorde em capacidade fotovoltaica. Como a competitividade

Figura 9 – Gráfico do Crescimento da Capacidade Renovável Entre 2019 e 2024.



Fonte: (IEA, 2020a)

continua a melhorar, a energia solar fotovoltaica ainda está em vias de atingir os níveis previstos no Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), o que exigirá um crescimento médio anual de 15% entre 2019 e 2030 (BIROL, 2021). A Figura 9 apresenta informações que facilita a percepção da evolução das fontes renováveis no cenário.

2.2.2 Energia Hidráulica

A energia hidráulica é proveniente da energia cinética da massa de água, aproveitado para fazer girar as turbinas, através das barragens, transformando essa energia do curso de água em energia elétrica. É considerada a tecnologia da energia renovável mais antiga entre todos.

A energia hidráulica continua sendo a principal fonte mundial de energia renovável em 2024. A capacidade aumenta 9% (121 GW) durante o período de previsão, liderado pela China, Índia e Brasil. Espera-se que um quarto do crescimento global venha de apenas três megaprojetos: dois na China (os projetos 16-GW *Wudongde* e 10-GW *Baihetan*) e um na Etiópia (o projeto 6.2-GW *Grande Renascença*). Além desses três grandes projetos, no entanto, novas adições de capacidade continuam a diminuir durante o período de previsão. Isso se deve em grande parte à desaceleração nos dois maiores mercados, China e Brasil, onde o crescimento é desafiado pelo aumento dos custos de investimento devido à limitação dos locais econômicos remanescentes e aos gastos extras para lidar com os impactos sociais e ambientais. No entanto,

é esperada nova capacidade na África Subsaariana e na região da Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN), pois o potencial inexplorado é explorado para atender à crescente demanda de energia. A Energia Hidrelétrica de Armazenamento Bombeado (PSH) também se expande, impulsionada pela necessidade de maior flexibilidade do sistema para integrar a crescente participação das energias renováveis nos portfólios de geração de eletricidade da China, Europa, América do Norte e Austrália. (IEA, 2020a)

2.2.3 Energia Eólica

A partir da força do movimento do vento, é possível obter uma energia que possa ser transformada em outras energias. A que é obtida por esse meio, ou seja através da energia cinética do ar, e posteriormente é transformada em energia mecânica, para depois ser transformada em energia elétrica, é denominada de energia eólica. A tecnologia de aproveitar o movimento do ar para o bem do homem não é de hoje, foi usada desde os tempos mais antigos, até hoje está em uso, e evoluindo bastante. As adições anuais líquidas de capacidade eólica deveriam chegar a 65 GW em 2020, 8% a mais do que em 2019. As medidas da Doença Causada pelo Novo Coronavírus (COVID-19) levaram à desaceleração da atividade de construção *onshore* de fevereiro a abril de 2020 devido a interrupções na cadeia de abastecimento e desafios logísticos em muitos países, mas o setor de energia eólica *offshore* foi apenas ligeiramente afetado pelos atrasos causados pela crise da COVID-19 devido aos longos prazos de entrega do projeto. Para 2021, a previsão era que assumisse uma nova aceleração das adições eólicas para 68 GW (7,3 GW *offshore*), impulsionada por projetos *onshore* atrasados que se tornaram operacionais, pois os principais países da Europa e os Estados Unidos aprovaram regulamentos que fornecem flexibilidade para prazos de comissionamento. (IEA, 2020b)

Em 2022, as instalações anuais globais voltam ao nível de 2019 devido à eliminação dos incentivos nos principais mercados da República Popular da China ("China") e dos Estados Unidos, o que é parcialmente compensado por uma expansão mais rápida na Europa. A participação da capacidade *offshore* no total de adições eólicas chega a quase 15% em 2022 - 50% maior do que em 2019 - graças à aceleração nos principais mercados europeus e à grande capacidade tornando-se operacional em mercados nascentes como França, Coreia e Vietnã, enquanto o mercado chinês diminui. Espera-se que os Estados Unidos ingressem nas fileiras dos maiores mercados *offshore* após 2022. (IEA, 2020)

2.2.4 Biocombustíveis

A capacidade de bioenergia aumenta 32%, de 129 GW para 171GW até 2024. Enquanto isso representa apenas 3% do crescimento total da capacidade renovável, a bioenergia é no entanto, responsável por 8% da geração renovável no final do período de previsão. As adições globais permanecem estáveis em 6 GW a 8 GW, com a China fornecendo quase 50% da nova capacidade, principalmente na forma de cogeração de biomassa sólida e projetos de Energia a Partir do Resíduos (EFW). O Japão oferece o segundo maior aumento em acréscimos de capacidade de bioenergia devido a projetos aprovados. A Índia e o Brasil são os próximos maiores mercados de crescimento por causa da cogeração a partir do bagaço, ligada à indústria de açúcar e etanol. Na União Europeia, 3 GW de adições em 2018 (o maior desde 2011) não são atingidos novamente. A capacidade da Europa se expande em pouco menos de 7GW durante todo o período de previsão, liderada pelo Reino Unido, Holanda e Turquia, isso devido ao seu mercado emergente de biogás. (IEA, 2020b)

3 HIDROGÊNIO

O hidrogênio é considerado o elemento químico mais abundante no planeta Terra, apesar de ser muito raro de encontrar na sua forma pura, ele sempre é encontrado associado com outras substâncias, como na água, e nos hidrocarbonetos, hidratos, álcoois e em outras associações. Também pode ser considerado um elemento inesgotável, devido a sua abundância e regeneração na natureza. É preciso um árduo trabalho para ser separado em sua forma pura, para que possa ser aproveitado separadamente como a fonte energética. Esse elemento é muito incomum, as suas propriedades química e física, são muito diferentes dos outros elementos da sua linha. É o elemento químico mais leve, com a massa atômica de $1,00797 \text{ g.mol}^{-1}$ e densidade de $0,084 \text{ kg.m}^{-3}$ a 1 bar e a 25°C . O hidrogênio foi inicialmente identificado pelo cientista britânico Henry Cavendish que mostrou à Sociedade Real de Londres em 1766 que havia diferentes tipos de ar: o “ar estável”, ou gás carbônico e o “ar inflamável”. Ele também demonstrou que o hidrogênio era muito mais leve do que o ar e foi o primeiro a produzir água a partir de hidrogênio e oxigênio por meio de uma faísca elétrica. O químico francês Antoine Laurent Lavoisier repetiu os experimentos de Cavendish, e depois de várias tentativas conseguiu combinar hidrogênio e oxigênio para formar água. Os seus experimentos de 1785 foram considerados definitivos em provar que o hidrogênio e o oxigênio eram os elementos básicos da água. Lavoisier foi o primeiro a consignar estes nomes para os dois elementos (PEREIRA *et al.*, 2015)

Ao ser comparado com a gasolina, o hidrogênio apresenta aproximadamente o triplo de conteúdo energético por unidade de massa ($141,6 \text{ MJ/kg}$ versus $47,3 \text{ MJ/kg}$) Gupta (2008). O que nos condiciona a ter um ponto de vista do teor energético, que o hidrogênio pode ser considerado como melhor combustível, levando em consideração o seu conteúdo energético por unidade de massa, que é maior do que qualquer outro combustível. Baseados nos estudos comparativos, o hidrogênio configura como o melhor, dentre os que foram comparados, como podemos ver na Tabela 1.

Baseado em tudo que foi explanado, o hidrogênio pode ser considerado como alternativa renovável, por além do elevado teor energético, também é armazenável, o que lhe faz ganhar das outras fontes renováveis que não são guardáveis, ou seja, o armazenamento dessas outras exige uma alta tecnologia e um alto custo, e têm altos impactos em relação ao meio ambiente.

Tabela 1 – Propriedade de Combustíveis Convencionais e Alternativas.

Propriedades	Gasolina	Diesel	Metanol	Etanol	GNC	Hidrogênio
Formula Química	$C_5 - C_{12}$	$C_{12} - C_{20}$	CH_3OH	C_2H_5OH	CH_4	H_2
Estado Físico	Líquido	Líquido	Líquido	GC	GC	GC/Líquido
Peso Molecular	100 - 105	200 - 300	32	46	16	2
Temperatura de ebulição (°C)	27 - 225	190 - 345	68	78	- 161	- 253
Temperatura de congelamento (°C)	- 40	- 34	- 97,5	- 114	- 183	- 259
LHV (MJ/kg)	44,5	42,5	20,1	27,0	50,0	- 119,9
HHV (MJ/kg)	47,3	44,8	22,9	29,8	55,5	141,6
		Composição (% em massa)				
Carbono	85 - 88	84 - 87	37,5	52,2	75	0
Hidrogênio	12 - 15	13 - 16	12,5	13,1	25	100
Oxigênio	0	0	50	34,7	0	0

Fonte: (GUPTA, 2008)

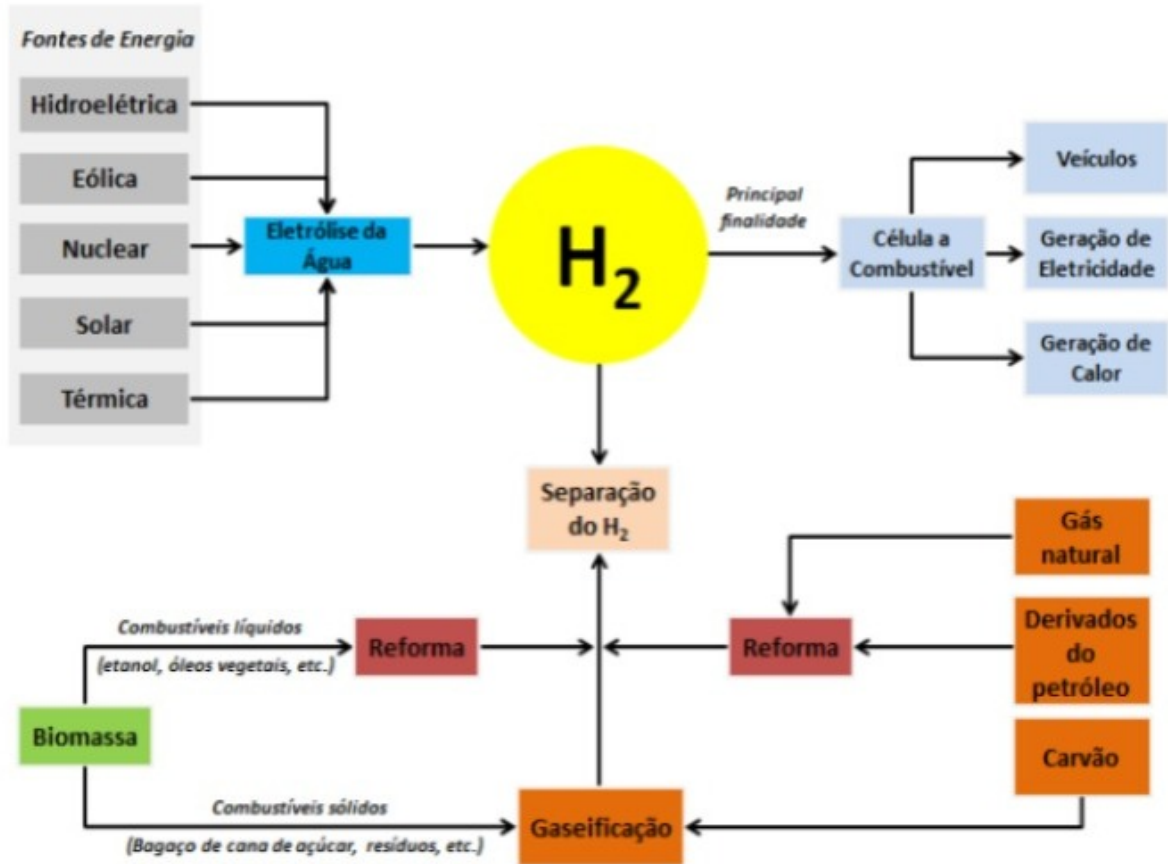
3.1 Produção do Hidrogênio

Como já dito, o hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, porém, é muito raro encontrar este elemento na sua forma pura, sempre é encontrado nas outras substâncias, no caso da água, nas plantas e os hidrocarbonetos. Para aproveitar esse elemento, é necessário aplicar certas tecnologias e métodos, para poder separar esse elemento em solo e usar como combustível. Para isso, é adotado várias tecnologias para retirar e deixar esse elemento em sua forma pura.

Atualmente, a produção de hidrogênio baseia-se em tecnologias que utilizam combustíveis fósseis ao longo do processo, sendo os principais métodos de produção a reforma a vapor do gás natural, a oxidação de hidrocarbonetos e a gaseificação do carvão. Além dessas tecnologias, outros métodos são propostos para produção de hidrogênio, como é o caso da eletrólise da água (BRAGA, 2015).

O nome colocado ao produto final, revela uma das três principais formas de produzir hidrogênio que foi usada, ou seja, qual é a fonte que foi utilizada para a sua produção. O hidrogênio verde, hidrogênio azul e hidrogênio cinza, cada um desses, tem uma origem e tecnologia diferente. Hidrogênio azul, é produzido a partir do gás natural, o hidrogênio cinza é produzido através dos combustíveis fósseis, já o hidrogênio verde, é o que tem origem a partir das fontes renováveis, e, a energia usada nesse processo, precisa ser da fonte completamente renovável. A Figura 10 mostra os principais processos de produção de hidrogênio, ainda nessa Figura 10 mostra que o o hidrogênio pode ser usado por diferentes fins.

Figura 10 – Principais Processos de Produção de Hidrogênio.



Fonte: (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019)

A escolha do melhor método de produção do hidrogênio depende da quantidade que se quer produzir e do seu grau de pureza. As tecnologias de produção de hidrogênio necessitam de energia de alguma forma para que se inicie o processo, por exemplo: calor, luz ou eletricidade. A energia elétrica poderá vir de fontes renováveis, tornando o processo de produção limpo (SANTOS e SANTOS, 2011 *apud* (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019)).

3.1.1 Principais Processos de Produção de Hidrogênio

Em geral, o hidrogênio pode ser obtido por 4 diferentes tipos de processos: térmico, eletrolítico, fotolítico e bioprocessos (U.S – DE, 2015 *apud* (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019)). A Tabela 2 mostra as principais vantagens e desvantagens dos principais processos de produção de hidrogênio.

Tabela 2 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Produção de Hidrogênio.

Processo	Exemplos	Vantagens	Desvantagens
Termoquímico	1. Gaseificação de biomassa; 2. Pirólise; 3. Reforma a vapor; 4. Oxidação parcial; 5. Reforma autotérmica; 6. Reforma oxidativa.	1. Custo relativamente baixo; 2. Eficiente; 3. Permite reaproveitamento energético.	1. Temperatura elevadas; 2. Uso de fontes combustíveis; 3. Recursos limitados.
Eletrolítico	1. Eletrólise; 2. Termólise.	1. Elevado potencial para sinergismo com energias renováveis; 2. Emissão zero de poluentes.	1. Baixa eficiência; 2. Custo elevado.
Fotolítico	1. Processos Fotobiológicos; 2. Processos Fotoeletroquímicos.	1. Sistema simples; 2. Radiação solar como fonte energética; 3. Pode alcançar emissão zero de poluentes.	1. Aplicação ainda inviável na escala industrial.
Bioprocessos	1. Processos fotossintéticos; 2. Processos fermentativos; 3. Processos híbridos.	1. Baixo custo; 2. Requer pouca energia; 3. Versátil.	1. Baixo rendimento; 2. Tempo de biorreação longo.

Fonte: (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019)

3.1.1.1 Termoquímico

Existem várias tecnologias termoquímicos para produção do Hidrogênio, as escolhidas são gaseificação de biomassa e reforma a vapor, porém, a que será abordada é a gaseificação de biomassa. Este método consiste em reações termoquímicas em vapor quente e oxigênio a baixa quantidade, em relação a usada na combustão, que tem como produto resultante monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio.

A biomassa é uma fonte de energia renovável e é considerada um combustível neutro em carbono. Consome a mesma quantidade de carbono enquanto cresce a quantidade que libera quando queima como combustível. Gaseificação de biomassa significa combustão incompleta de biomassa, resultando na produção de gases combustíveis consistindo de CO , H_2 e vestígios de CH_4 .

Biomassa + temperatura + vapor $\rightarrow H_2 + CO + CO_2 + CH_4 +$ Hidrocarbonetos leves/pesados + carvão (KUMAR, 2015). Esta tecnologia depara com algumas dificuldades, como afirma (KUMAR, 2015). Os principais desafios que o processo de gaseificação enfrenta são os seguintes: (1) formação indesejável de alcatrão e (2) grande emissão de carbono. O alcatrão pode causar a formação de aerossol de alcatrão e uma estrutura polimérica mais complexa, que não são favoráveis à produção de hidrogênio por meio da reforma a vapor (KUMAR, 2015).

3.1.1.2 Eletrolítico

Esta tecnologia pode ser concretizada por via do chamado eletrólise, também por via de termólise. Nesta passagem, o foco será no processo eletrolítico, por meio de eletrólise da água, como o nome diz, este processo consiste em quebrar molécula de água através da corrente elétrica. Neste processo, para realizar a quebra da molécula de água, em hidrogênio e oxigênio, é necessário a injeção da corrente elétrica na água, através dos elétrodos, cátodo e ânodo, por meio desses terminais, as cargas elétricas circulam, onde o cátodo gera o hidrogênio e o ânodo gera o oxigênio. A corrente contínua é a que é usada nesse processo, como é possível observar na Figura 11, dentro dessa imagem, deu para perceber a ausência do inversor, o dispositivo responsável para retificação da corrente contínua para corrente alternada. O que mostra que a corrente vai direto e continua para o eletrolisador.

A partir do momento que começa esse processo, ou seja, depois do início circulação da corrente elétrica, começa a separação do Hidrogênio com o Oxigênio. Dentro do eletrolisador ocorre uma reação, que é representada pela formula seguinte

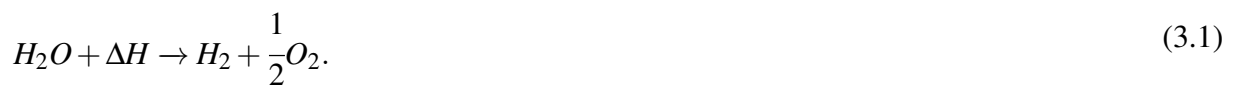
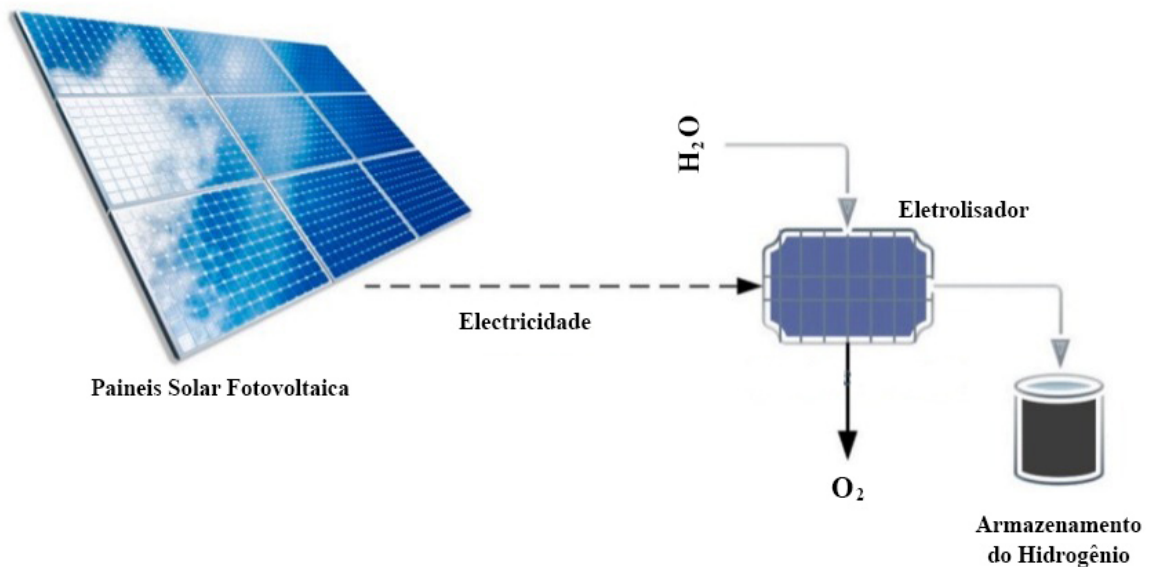


Figura 11 – Produção de Hidrogênio Baseada em Fonte de Energia Solar Fotovoltaica.



Fonte: (ISHAQ H., 2021)

3.1.1.3 Fitolítico

Não longe dos outros processos, este também é um dos que tem diferentes vias, no caso, processo fotoeletroquímico e fotobiológico. O último processo, apesar de estar ainda em vias de pesquisa, porém, é uma tecnologia promissora e muito benéfico, porque ajuda no processo de despoluição do meio ambiente. Pode ser adotado e conectado os sistemas de coleta dos resíduos orgânicos, o que facilitaria muito ambas partes no processo.

No processo fotobiológico são empregados microrganismos fotossintéticos, tais como algas e bactérias, para a produção de hidrogênio durante suas atividades metabólicas. A fonte de energia para este processo é a energia luminosa. A produção de hidrogênio por via biológica pode ocorrer por meio de dois processos: foto-sintético e fermentativo, sendo que o último é tecnicamente mais simples e apresenta como vantagem a alta velocidade de reação (ESPINDOLA, 2010).

3.1.1.4 Bio-processos

O processo de fermentação anaeróbia ou escura consiste no emprego de bactérias fermentativas capazes de degradar substratos ricos em matéria orgânica em compostos mais simples como ácidos orgânicos voláteis, álcoois, metano, dióxido de carbono e hidrogênio na ausência de luz e oxigênio.

Neste processo, há possibilidade de vários e diferentes substratos serem fermentados para produzir hidrogênio. A fermentação escura tem vantagens de alta taxa de crescimento bacteriano, baixa necessidade de energia, sem limitação de oxigênio, baixo custo e produção de bio-hidrogênio sem luz e várias fontes de carbono podem ser utilizadas como substrato.(ARGUN; KARGI, 2011)

3.2 Uso do Hidrogênio Para Produção da Energia Elétrica

Usar hidrogênio como combustível para produção da energia elétrica, pode ser uma solução para o mundo, desde já que o seu uso como combustível não tem impactos contra o meio ambiente, apesar de ainda é alto o custo da sua produção, porém, podem ser aperfeiçoada os estudos das tecnologias que envolvem a sua produção, transporte e armazenamento.

A demanda do consumo de energia elétrica cresce muito rápido, o que talvez faz com que as fontes dessas energias continuam sendo grandes emissores do CO_2 , não podemos

Tabela 3 – Comparação de Armazenamento de Hidrogênio a Bordo.

Combustível	Energia Total (MJ)	Peso do Combustível (kg)	Peso de tanque (kg)	Total de Peso do Sistema do Combustível(kg)	Volume(gal.)
5 Galão (gal.) gasolina	662	14	6,4	20,4	5
Hidrogênio líquido (20K)	662	4,7	18,6	23,3	47
H ₂ armazenado em hidreto metálico Ferro Titânio (FeTi)	662	4,7	549,2	554	50
Hidrogênio Comprimido (207-690 bar)	662	4,7	63,6-86,3	68,3-91	108-60

Fonte: (GUPTA, 2009)

negar o cenário não está evoluindo num bom caminho, mas, essa evolução precisa ser acelerada para que possa equilibrar mais rápido possível.

3.2.1 Transporte e Armazenamento

No meio de todo este processo, os fatores que podem ser apontados como os indutores da economia da produção do hidrogênio, são transporte e armazenamento. Depois da produção do hidrogênio é necessário o armazenamento e posteriormente transportado para o seu local de uso, devido isso, este processo exige muitos cuidados, tecnologias e custos. Isto é, se o produtor não é o consumidor final, pois, maioria das vezes os grandes produtores são os próprios consumidores, que acabam não precisar do sistema de transporte e armazenamento, porque o uso acaba sendo local e imediato. Este gás é mais frequentemente transportado no seu estado gasoso e líquido, o que condiciona de uma forma indireta o custo. Dentro da sua propriedade química, quando se encontra em estado líquido e gasoso, sendo no estado líquido a sua densidade é superior em relação aos outros estados e acaba influenciá-lo a ter todas essas necessidades especiais, se formos fazer a comparação com outros combustíveis, concluiremos que leva a desvantagem devido esse processo. Na Tabela 3, podemos observar a comparação do hidrogênio com gasolina. De acordo com as informações da tabela, dá a noção da desvantagem que o hidrogênio tem em relação a gasolina neste quesito. Isso, influencia diretamente nas outras vantagens levadas por ele. Lembrando que este vector de energia é gás inflamável e explosivo, o que também faz com que o seu transporte fica muito complicado e exige muitos cuidados. Pode ser por vias de gasodutos, cisternas e entre outros.

3.2.2 Custo

Uma das maiores dificuldades em relação a produção do hidrogênio é o custo, tem um elevado custo desde a sua produção, transporte e até o seu uso final, teremos condição de afirmar isso, quando colocamos em comparação com outros combustíveis, percebemos que

Tabela 4 – Custo Estimado de Produção de Hidrogênio, Transporte e Distribuição

Fonte de Energia Primária	Custo de produção (\$/kg)(\$:com base no ano 2003	Custo de Distribuição Via Pipeline (\$/kg)	Custo de Distribuição (\$/kg)	Custos Totais (\$/kg H ₂ ou\$/gge
Reforma de gás natural	1.03	0.42	0.54	1.99
Gás natural + captura de CO ₂	1.22	0.42	0.54	2.17
Gaseificação de carvão	0.96	0.42	0.54	1.91
Carvão + captura de CO ₂	1.03	0.42	0.54	1.99
Eletrólise do vento	6.64	0.42	0.54	7.60
Gaseificação de biomassa	4.63	1.80	0.62	7.04
Pirólise de biomassa	3.80	1.80	0.62	6.22
Divisão térmica nuclear da água	1.63	0.42	0.54	2.33
Gasolina (para referência)	\$0.93/gal.refinado	\$0.19	-	\$1.12/gal

Fonte: (GUPTA, 2009)

apesar das outras suas vantagens, tudo aquilo pode não adiantar quando o valor monetário entra em causa, isso pode fazer qualquer pessoa optar por outros combustíveis ao invés deste. Como já dito nas passagens anteriores, o hidrogênio tem inúmeros benefícios, em relação aos outros combustíveis, porém, quando for falar do custo na produção transporte e armazenamento, acaba perdendo por outros e sabemos como pode dificultar a sua evolução em relação a dominação do mercado.

Ao longo do tempo, várias análises já foram feitas em relação ao custo desde produção até a entrega final, mesmo sabendo que tem vários caminhos que podem ser adotados para produção, dependendo da sua matéria-prima, tecnologia e muito mais. Com tudo isso, a conclusão mostra que o hidrogênio perde. Em 2004 uma análise é feita, onde fizeram uma estimativa baseado no fato de que o conteúdo de energia de um galão de gasolina equivalente e de um quilograma de hidrogênio, são aproximadamente iguais em uma base de menor valor do aquecimento. No estudo feito, o valor de custo varia de acordo com a tecnologia usado para a produção.(GUPTA, 2008)

Como é possível observar na Tabela 4, o custo varia significativamente de acordo com a tecnologia, mesmo assim, o menor valor obtido que é a partir da reforma de gás natural, ainda é maior que o valor para a produção de gasolina.

4 HIDROGÊNIO NA ÁFRICA

4.1 Situação Africana

O mercado energético africano não está parado, tem acontecido muitas movimentações em prol do crescimento desse setor e no sentido de colaborar em descarbonização das fontes energéticas usadas neste continente. Como já visto na seção anterior, a matriz elétrica africana está dominada pelas fontes dos combustíveis fósseis, o que motiva muito trabalho com o objetivo de aumentar a participação das fontes renováveis, o que é o objetivo universal.

A África tem um potencial enorme dos recursos, não renováveis assim como renováveis e grandes espaços áridos abertos, as costas ventosas, tudo isso possibilita muito a produção no baixo custo do hidrogênio nos três modos, hidrogênio cinza, hidrogênio azul e principalmente o hidrogênio verde. Este último é o mais desejado, devido os seus benefícios, o mundo está muito voltado em conseguir produzir só este e em grande escala, porque é um vetor que pode impulsionar muito o processo de descarbonização, a África não ficou atrás neste sentido, também acelerou este processo. Muitos países do continente estão muito atrasados, outros nem começaram, porém, tem muitos que já estão muito avançados nesse processo.

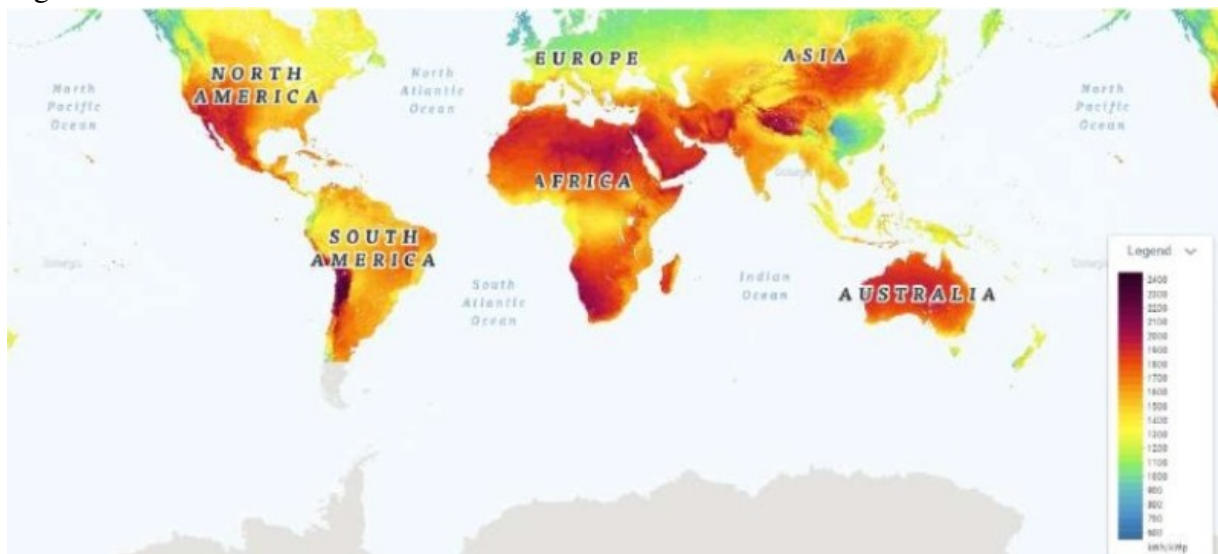
Lembrando que ainda pode contar com o grande potencial de energia solar e eólica que o continente possui. A África não está a usar ainda todo seu potencial de energias, é estimado que o potencial que há na África é muito superior a quantidade necessária para cobrir as demandas atuais e futuras.

"A demanda de eletricidade na África hoje é de 700 TWh e estima-se que varie de 1600-2300 TWh em 2040".(BHAGWAT; OLCZAK, 2020) *apud* IEA. "A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) estimou o potencial teórico da energia solar fotovoltaica e de concentração solar da África, potencial teórico são 660.000 TWh por ano e 470.000 TWh por ano, respectivamente. A África Oriental e a África Austral têm o maior potencial. Da mesma forma, a energia eólica pode produzir até 460.000 TWh de eletricidade por ano, com Argélia, Egito, Somália, África do Sul e Sudão entre os países com as condições mais promissoras. As áreas ao largo das costas de Madagáscar, Moçambique, Tanzânia, Angola e África do Sul oferecem perspectivas promissoras para a produção eólica *offshore*. O mesmo se aplica à energia hidroelétrica, que é atualmente a principal fonte de energia renovável em África com 35 GW de capacidade instalada e com Angola, Etiópia, República Democrática do Congo, Zâmbia, África do Sul, Sudão, Moçambique e Nigéria com pelo menos 2 GW de capacidade instalada cada e

energia geotérmica principalmente na África Oriental."(BHAGWAT; OLCZAK, 2020)

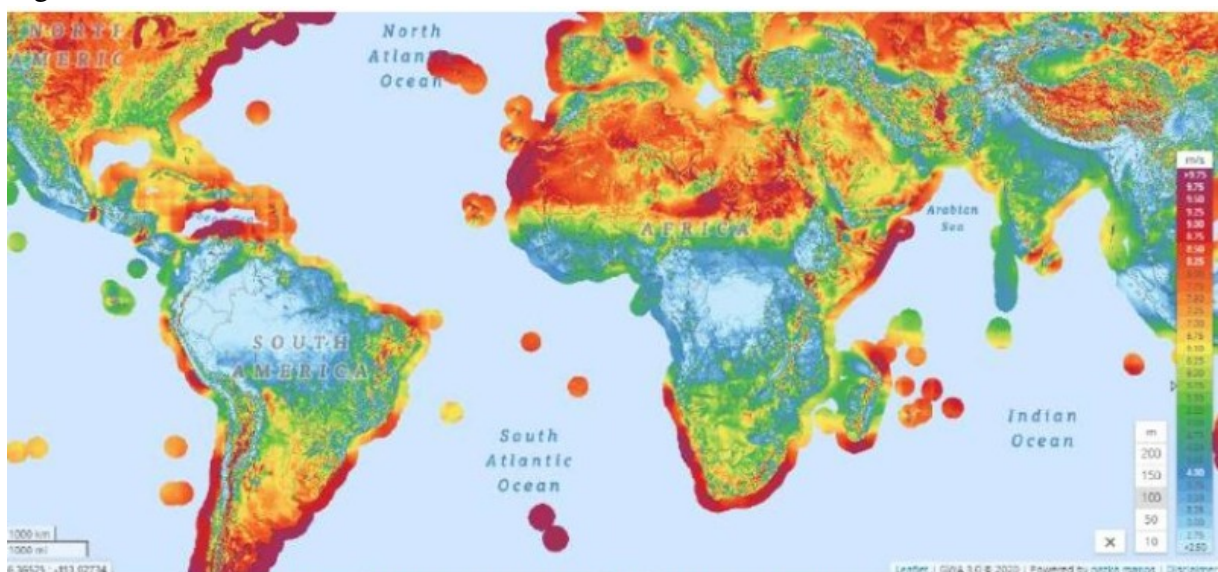
A Figura 12 apresenta a incidência solar de acordo com as regiões, o que permite estimar a potencia de gerar energia elétrica através da luz do sol e é notável a alta potência nas regiões do continente africano, principalmente África do Norte e África do Sul e na Figura 13 é apresentada a situação do vento de acordo com regiões, o que também permite estimar a potência eólica para gerar energia elétrica.

Figura 12 – Atlas Solar Global.



Fonte: Atlas Global Solar (2020)

Figura 13 – Atlas Eólico Global.



Fonte: Atlas Global de Vento (2020)

"Internacionalmente, os países que lideram o desenvolvimento do mercado de hi-

drogênio são Japão, Alemanha, Reino Unido, Noruega, Chile, Austrália, Marrocos, Arábia Saudita e China. A União Europeia (UE) está empenhada em atingir suas metas de descarbonização para 2050 com uma estimativa de 24% de hidrogênio (aproximadamente 2.250 TWh) na demanda total de energia. Isso resultaria em 560 Mt de redução anual de CO_2 , 820 bilhões de euros de receita anual, uma redução de 15% nas emissões locais e 5,4 milhões de empregos. Devido ao seu tamanho e densidade populacional, a demanda de hidrogênio da UE não pode ser atendida localmente e, portanto, parcerias energéticas com regiões com potencial Energias Renováveis para adquirir hidrogênio verde seriam necessários para cumprir as metas de descarbonização da UE. Já existe uma infraestrutura da UE totalmente desenvolvida para importar combustíveis sintéticos com capacidade de 1.800 GW, em comparação com os 14 GW de eletricidade, o que representa um bom argumento para considerar as importações de hidrogênio."(BHAGWAT; OLCZAK, 2020)

Significa que o continente africano está sendo uma peça fundamental para objetivos comuns, ou seja, a UE para conseguir os seus objetivos traçados, precisa de parceiros como África, caso contrário, estará longe de alcançar as suas metas. Isso mostra que a África tem um potencial enorme e perspectivas promissoras. Ainda há uma capacidade enorme de produção de hidrogênio a partir da lenha e dos resíduos de agricultura.

"Os resultados dos estudos feitos pelos estudiosos do Instituto Americano de Engenheiros Químicos Environ Prog, mostram que a África tem potencial para produzir mais de 6,7 Mt e um total de cerca de 350.000 GWh de energia de hidrogênio a partir de lenha e resíduos agrícolas anualmente."(AMUZU-SEFORDZI BASIL; HUANG; BADDOOC, 2016)

4.2 Marrocos

Marrocos é um país que fica situado no Norte da África, banhado pelo mar mediterrâneo e pelo oceano atlântico, rico em recursos solar e eólico. Este país está trabalhando bastante em poder aproveitar todas as energias que estão à disposição da nação, pelo bem comum. Há muito tempo o Reino é considerado um dos líderes no espaço para geração das energias renováveis.

O país está trabalhando em parceria com Alemanha para poder atingir melhores resultados. "Desde 2009, Marrocos posiciona-se como líder no espaço das energias renováveis. O Reino adotou uma estratégia nacional de energia renovável bem-sucedida que serve como seu roteiro para um sistema de energia de baixo carbono que concilia objetivos de desenvolvimento,

econômicos, sociais e ambientais.

"Em 10 de junho de 2020, Marrocos e Alemanha assinaram um acordo sobre o desenvolvimento do setor de produção de hidrogênio verde, sob o qual os dois países unirão esforços para estabelecer dois projetos: *Power-to-X*: uma referência ao termo genérico usado para se referir às diferentes formas de geração de energia (por exemplo, *power-to-gas*, *power-to-liquid*, *power-to-fuel*, *power-to-chemicals* and *power-to-heat*), terá como foco a produção de hidrogênio verde, proposta pela Agência Marroquina de Energia Sustentável (MASEN). Este mega-projeto inovador, a ser co-financiado pelo *KfW*, que é um banco estatal alemã que financia os projetos, deverá dar origem à primeira unidade de produção de hidrogênio em África e envolve a construção de uma central híbrida fotovoltaica/eólica para abastecer uma central de hidrogênio verde com uma capacidade de electrólise de cerca de 100 MW. O projeto deve ser adjudicado em 2022 para data de operação comercial programados entre 2024 e 2025; e *Power-to-X research*: o segundo projeto consiste no estabelecimento de uma plataforma de pesquisa em *Power-to-X*, transferência de conhecimento e fortalecimento de habilidades relacionadas em parceria com o Instituto Marroquino de Pesquisa em Energia Solar e Novas Energias (IRESEN), este tipo de projeto de pesquisa, ajuda muito os países a alavancar os assuntos pesquisados"(CHANCE, 2020).

"Como outros países que ficam localizados na costa da África, Marrocos graças à sua posição geográfica estratégica e excepcional energia eólica e solar e até mesmo potencial hídrico, Marrocos pode capturar uma parcela significativa da demanda *Power-to-X*, estimada em 2-4% da demanda global em 2030. Marrocos tem potencial para desenvolver uma economia de hidrogênio líder mundial para a procura interna e para a exportação e tornar-se líder no espaço das energias renováveis e uma referência para outros estados africanos"(CHANCE, 2020). A Figura 14 mostra uma visão geral das iniciativas de hidrogênio verde Marroquino, com as informações da imagem, percebe-se que este país está investindo muito bem nesse setor.

Figura 14 – Visão Geral das Atuais Iniciativas de Hidrogênio Verde no Marrocos.



Fonte: (WIJK AD VAN; WOUTERS, 2019)

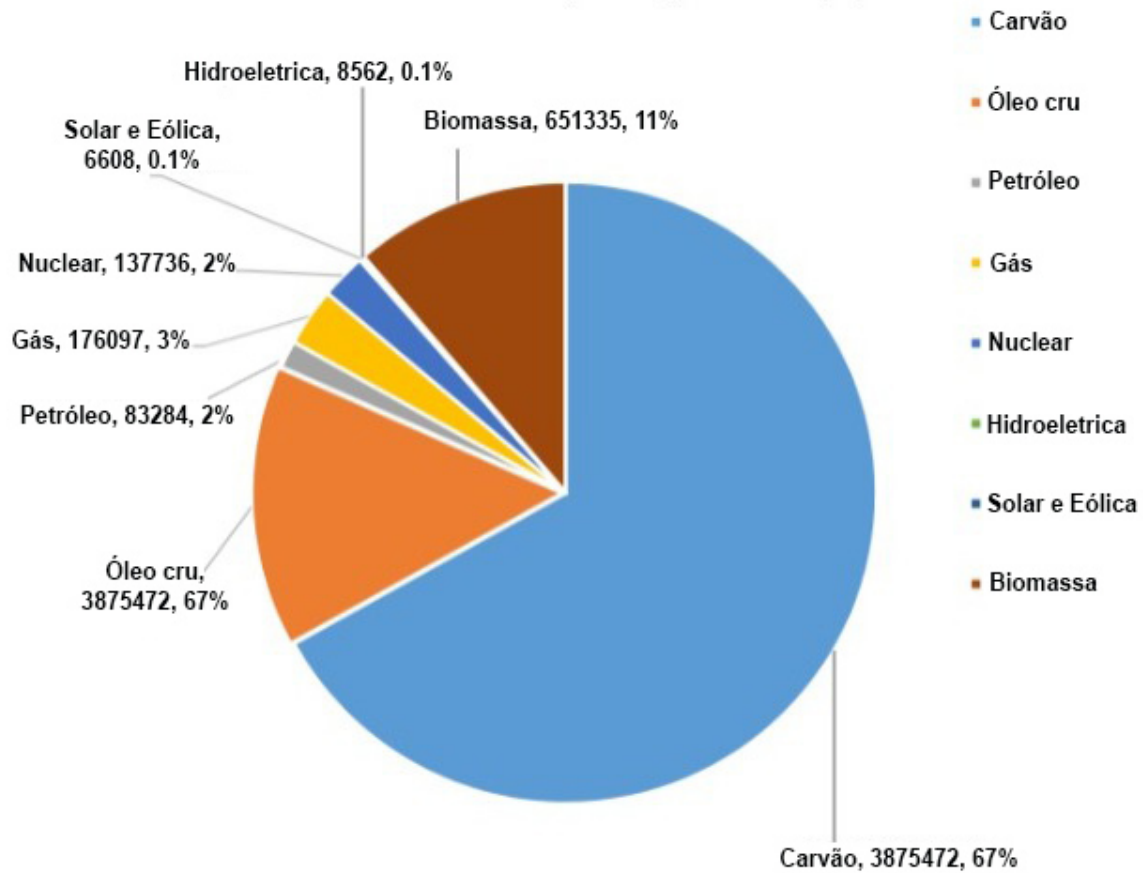
4.3 África do Sul

Este país tem empenhado muito em reduzir a emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE), porque tem uma alta taxa de emissão, razão pelo qual dedica muito nos estudos e uso das fontes energéticas alternativas. Chegou até a assinar a Convenção da ONU sobre Mudanças Climáticas. Como é possível ver na Figura 15, África do Sul possui diversas fontes energéticas primária, porém, a matriz energética está dominada pelos combustíveis fósseis, que até o ano 2015 tinha aproximadamente 87%. E a Figura 16, o que facilita a compreensão de como ficam localizados as regiões e cabos.

A situação forçou o governo Sul Africano a reinventar para poder sanar a situação. "Atualmente, 86% das 113 Mt de emissão de CO_2 no país são resultado do uso do carvão, bem como do combustível líquido associado de derivado do carvão. O enorme uso de carvão na África do Sul é responsável por 40% do total de emissões de CO_2 derivadas do carvão na África, tornando o país responsável por cerca de 18% da participação subsaariana e 1% das emissões globais de GEE" (ADEFARATI; OBIKOYA, 2018) Com todo este cenário, o governo Sul Africano adotou várias políticas no sentido de poder aumentar a participação das fontes energéticas renováveis e diminuir a emissão de GEE. Estipulou a meta de atingir 30% com a participação das fontes renováveis.

Com o foco nas fontes renováveis, já é comprovado que a África do Sul possui um

Figura 15 – Recursos Energéticos Primário em TJ .



Fonte: (CARN, 2021)

Tabela 5 – Projetos de Energia Eólica na África do Sul.

Projetos	Capacidade	Modelo de Turbina	Custo do Projeto	Província	Início das Operações Comerciais
Cookhouse Wind Farm	135.8 MW	Suzlon S88	R 2.4 Bilhões	Cabo Oriental	Março, 2014
Gouda Wind Farm	135.5 MW	Acciona	R 2.7 Bilhões	Cabo Ocidental	Setembro, 2015
Jeffreys Bay Wind Farm	135.11 MW	Siemens	R 2.9 Bilhões	Cabo Oriental	Julho, 2014
Amakhala Emoyeni Wind Farm	131.05 MW	Nordex N117/2,400	R 3.94 Bilhões	Cabo Oriental	Julho, 2016
Enel's Gibson Bay Wind Farm	108.25 MW	Nordex	R 2 Bilhões	Cabo oriental	Mai, 2017
Darling Wind Farm	5.2 MW (13.2)	Fuhrlander	R 74 Milhões	Cabo Ocidental	2008
Sere Wind Farm	50/46 MW	Siemens SWT-2.3-108	R 2.689 Bilhões	Cabo Ocidental	Outubro, 2014
Dassiesklip Wind Farm	27 MW	Sinovel SL3000	-	Cabo ocidental	2014
Oyster Bay Wind Farm	80 MW	Nordex N90/2500	R 18 Bilhões	Cabo oriental	2015

Fonte: (ADEFARATI; OBIKOYA, 2018)

potencial em diferentes regiões daquele país, o que possibilita a produção do hidrogênio verde em larga escala.

A África do Sul, como muitos outros países que têm privilégio de ficar situado na extremidade do continente, usufruem disso devido a intensidade do vento nessas zonas, a Figura 16 mostra o mapa daquele país. Nas Figuras 12 e 13 é possível ver a situação deste país e dos demais países em relação ao sol e vento, na zona da África de Sul onde se ver referente a este país. Para mais detalhes, a Tabela 5 mostra os projetos da energia eólica na África do Sul.

Figura 16 – Mapa da África do Sul.



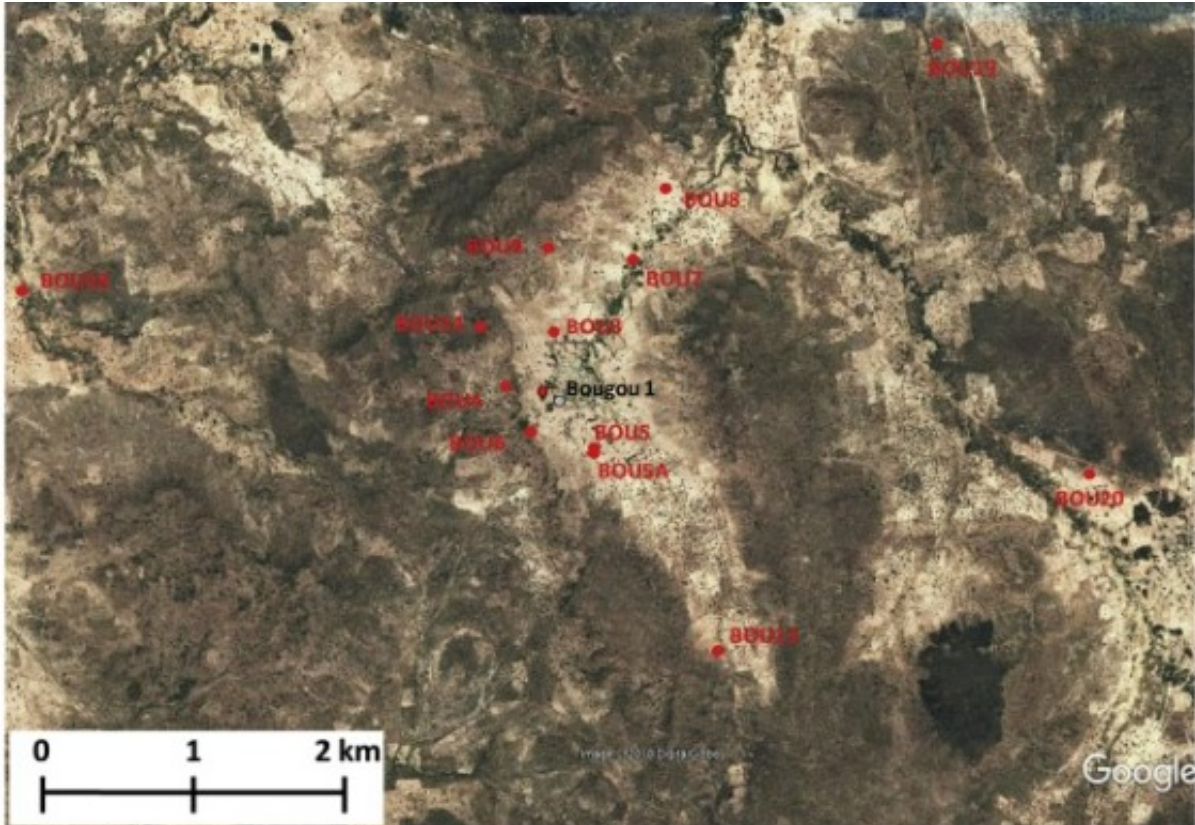
Fonte: Wikimedia Commons (2010)

4.4 Mali

Nas seções anteriores, é possível perceber que o hidrogênio é o elemento mais abundante na natureza, porém, sempre é encontrado em associação com outros elementos, não na sua forma pura. "Numa área que está localizada perto da aldeia de Bourakebougou, cerca de 50 km ao norte de Bamako, onde um antigo poço de água (perfurado em 1987) foi rapidamente obstruído e temporariamente abandonado devido a uma inesperada explosão de gás. Algo muito raro na natureza, nos últimos anos, alguns estudos têm mostrado que algumas áreas têm este recurso subterrâneo. Em 2011, a empresa de petróleo e gás PETROMA descimentou o poço, com o objetivo de adquirir direitos de exploração para a produção do bloco" (PRINZHOFER ALAIN; CISSÉ; DIALLO, 2018). Apesar de não estar muito avançado, fica claro que o país já estava explorando o setor desde 2011. O Hidrogênio que foi produzido nesta fonte pioneira é

composto de 98% de 1% de Nitrogênio e 1% de Metano. Várias fontes de hidrogênio foram descobertas nessa área de diâmetro de 8 Km, com as diferenças de profundidade que varia de 105 - 1807.4 m. A Figura 17 mostra os poços do hidrogênio na área de Bourakebougou

Figura 17 – Imagem de Satélite do Google Earth da Área de Bourakebougou (Mali). Os números e posições dos poços são mostrados com círculos.



Fonte: (PRINZHOFER ALAIN; CISSÉ; DIALLO, 2018)

(Mali), pela quantidade de poços ilustrados na Figura 17, isso reforça ainda mais tese de que há grande quantidade deste elemento químico naquele região. Mali que também tem um espaço considerável para produção das energias renováveis, no caso de solar e eólica, porque, é considerado o oitavo maior País do continente africano, em termos da área. “Também, estudos comprovam que anualmente, só com resíduos agrícola e lenhas, este país é capaz de produzir cerca de 0,921 Milhões de toneladas anualmente.” (AMUZU-SEFORDZI BASIL; HUANG; BADDUOC, 2016)

4.5 Demais Países Africanos

A África é um continente com 54 países, dividido em regiões diferentes, de acordo com as diferentes localizações, os países usufruem das qualidades dos recursos diferentes, há

países que têm muitos recursos energéticos, enquanto que outros nem tanto. Então, essa diferença que faz com que algumas regiões têm mais potenciais para produção das energias renováveis, em relação aos outras. Na seção anterior, é apresentado mais detalhes das potências de alguns países, o que não quer dizer que são só os que têm potencial para tal, há muitos outros países que têm muitas semelhanças em relação aos apresentados, no que diz respeito a produção das energias, que podem ser grandes influenciadores da produção do hidrogênio verde.

Existem muitos estudos relatados nas atlas, que mostram a existência do potencial nos países do continente africano. Podemos ver o caso da Namíbia, um país que já está progredindo muito neste setor do hidrogênio verde, está vendo como grande oportunidade de investimento, que pode retornar grandes benefícios ao país. No maio de 2021, *McKinsey & Co* publicam “Roteiro para construir o setor de hidrogênio verde da Namíbia”(CHANCE, 2020). Já no mês de junho a consultoria global de engenharia *Hatch* desenvolve a “Estratégia de Hidrogênio Verde da Namíbia” a pedido do governo do país. Meses depois, no setembro do mesmo ano o Instituto de Pesquisa de Hidrogênio Verde é estabelecido na Universidade da Namíbia após a aprovação do Gabinete.

"O Governo Federal da Nigéria, como outros governos também manifestou interesse geral no desenvolvimento de energia de hidrogênio para complementar a demanda energética do país por meio da Política Nacional de Energia 2018, que detalha uma estratégia de curto, médio e longo prazo para a incorporação da energia de hidrogênio no país. Como é óbvio que as políticas são impulsionadoras para o desenvolvimento de qualquer setor, quando o governo muda qualquer política, fica visível a intenção das mudanças."(CHANCE, 2020) Nigéria que é um país conhecido mundialmente pela exportação do seu petróleo, ainda dispõe dos recursos renováveis, que podem ser transformados em hidrogênio verde, uma forma em que podem ser armazenadas. "Este país tem cerca de 14,75 MW de Hidroelétrica, 13,071,464 Hectares de lenha, 61 Mt por ano de resíduos animal, 83 Mt por ano de resíduos de colheita, tem uma radiação solar de 3.5-7.0 kWh/m² por dia e 2-4 m/s (média anual) a 10m de altura"(BULAMA, 2014). Quando tinha só planos para integrar o hidrogênio no sua matriz energético, o país investiu muito nas pesquisas do hidrogênio para poder acelerar o processo.

Tunísia que também está bem posicionado no cenário, estabeleceu uma parceria com Alemanha no sentido de melhorar as estratégias no setor de energia, para poder juntos revolucionar este setor. É um dos países que beneficiaram muito da sua localização geográfica, tendo muitas horas de sol por ano. Como parte da parceria, realizou o primeiro treinamento no

outubro de 2021, para capacitar profissionais da área.

5 PERSPECTIVAS

A economia do hidrogênio está ligado com a necessidade da sociedade e com a tecnologia para ser considerado uma solução potencial em reduzir os impactos ambientais. O seu sucesso tem uma forte ligação com soluções tecnológicas de produção, transporte e armazenamento, também os investimentos para pesquisas são necessárias, no sentido de melhorar tudo ao seu redor.

Os blocos de construção técnico para futuro são muito bem documentados, também as tecnologias do seu uso final, como células de combustível, veículos a hidrogênio, energia e dispositivos de aquecimento, estão em constante mudança. A medida que a demanda aumenta e ao mesmo tempo a necessidade de mitigar a emissão de CO_2 e variação das fontes de energética. Mesmo com todas as dificuldades elevados custos na produção, é possível perceber que o hidrogênio tem um futuro promissor, pois o seu uso está crescendo exponencialmente com o decorrer do tempo, não só no seu uso para fim de produção da energia elétrica, mas, também em outros setores, como transporte, nas industriais e muito mais.

“O hidrogênio tem apenas uma presença insignificante no setor de energia hoje, respondendo por menos de 0,2% da geração de eletricidade globalmente. Isso está relacionado principalmente ao uso de gases mistos contendo hidrogênio da indústria siderúrgica, plantas petroquímicas e refinarias. Além disso, mais de 2100 MW de células a combustível estacionárias foram instaladas até ao final de 2020, embora praticamente todas funcionem a gás natural.” (IEA, 2021)

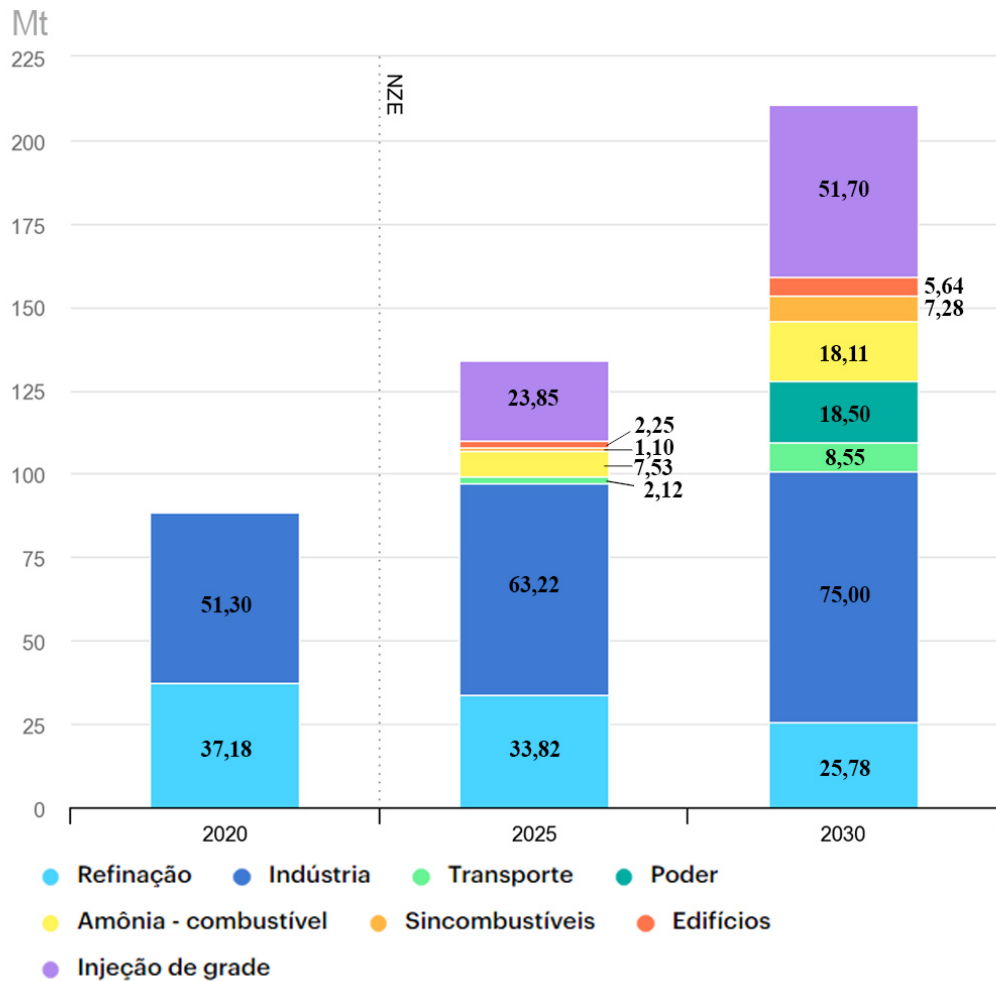
Atualmente está um pouco atrás em relação as outras fontes de energia usada majoritariamente, porém, a sua constante evolução e seus benefícios nos mostra que é muito promissor e atingirá um alto nível futuramente, como mostra vários estudos de previsão feitos pelos estudiosos

“Muito poucos países estabeleceram metas explícitas para o uso de hidrogênio ou combustíveis à base de hidrogênio no setor de energia. O Japão é uma das poucas exceções: seu objetivo é atingir 1 GW de capacidade de energia baseada em hidrogênio até 2030, correspondendo a um consumo anual de hidrogênio de 0,3 Mt , aumentando para 15-30 GW (5-10 Mt) no longo prazo. Em seu roteiro para o hidrogênio, a Coreia estabeleceu uma meta de 1,5 GW de capacidade instalada de células de combustível no setor de energia até 2022 e 15 GW até 2040. Vários países, entretanto, reconheceram o potencial do hidrogênio como uma opção energética de baixo carbono e geração de calor, por exemplo, para fornecer flexibilidade em sistemas de

energia com altas participações de energia renovável variável.” (IEA, 2021)

Podemos ver as demandas globais do hidrogênio nas Figuras 18 e 19, essas mostram que o hidrogênio está em boas vias para dominar o cenário. A Figura 18 mostra demanda global de hidrogênio por setor no cenário Emissões Líquidas Zero (NZE), no intervalo de 2020 até 2030, ou seja num intervalo de 10 anos o cenário tem uma grande mudança, de acordo com a projeção.

Figura 18 – Demanda Global de Hidrogênio por Setor no Cenário Zero Líquido 2020-2030.



Fonte: (IEA, 2021)

Na Figura 19, é apresentada a demanda global de hidrogênio por tecnologia de produção no cenário NZE, também é possível observar que o cenário mudou bastante no intervalo de 2020 a 2030, com intensão de descarbonização durante a produção do hidrogênio. Nestas mudanças, o destaque vai para a tecnologia de eletrólise que cresceu muito entre 2025 à 2030, um acréscimo de aproximadamente 340%, saindo de 23,91 para 79,72 Mt.

Houve um ligeiro acréscimo na tecnologia de Fóssil com Captura e Uso de Carbono

Figura 19 – Demanda Global de Hidrogênio por Tecnologia de Produção no Cenário Zero Líquido 2020-2030.



Fonte:
(IEA, 2021)

(CCU), que saiu de 8,15 para 13,43 Mt. Enquanto isso, o Fóssil com CCS cresceu muito também, no intervalo de 5 anos, saindo de 22,59 para 52,78 Mt, um crescimento de mais de 100%.

“Em 2030, as usinas termelétricas que usam combustíveis de baixo carbono podem ser um importante recurso despachável para cobrir os períodos de pico de demanda quando o valor da eletricidade é alto e fornecer uma gama de serviços de sistema para garantir a segurança energética e adequação da capacidade, evitando dispendiosas interrupções no fornecimento de energia. No cenário de emissões líquidas zero até 2050, a demanda por hidrogênio e combustíveis à base de hidrogênio na geração de eletricidade atinge 17 Mt H_2 -eq em 2025 e 51 Mt H_2 -eq em 2030. Enquanto a capacidade de geração de eletricidade ligada a combustíveis à base de hidrogênio é atualmente muito limitado, atinge 140 GW até 2030 neste cenário.” (IEA, 2021)

Ainda os dados dos projetos mostram que tem muitas coisas para desenrolar ao longo do tempo, juntando cada vez a peça, a ideia fica mais clara que o hidrogênio promete muito.

“Além disso, o tamanho do projeto aumentou significativamente: a maioria dos projetos no início de 2010 estava na escala de kW, enquanto os maiores em 2017-2019 eram de 6 MW e um número significativo caiu na faixa de 1 MW a 5 MW. Nesse sentido, 2020 também foi um ano recorde porque o segundo e o terceiro maiores projetos de eletrolisadores do mundo entraram em operação (o maior projeto é a planta Industrial Cachimayo de 25 MW, no Peru). Em março, um eletrolisador alcalino de pilha única de 10 MW entrou em operação no Japão (alimentado por energia solar fotovoltaica) e em dezembro um eletrolisador de pilha múltipla de 20 MW no Canadá (alimentado por energia hidrelétrica) concluiu os testes e começou a operar em janeiro de 2021. Além disso, houve significativamente mais anúncios de projetos da ordem de centenas de MW em 2020, alguns dos quais chegaram à fase final de decisão de investimento e deveriam começar a operar no início de 2020”(IEA, 2021).

6 CONCLUSÃO

Devido à necessidade de transição energética, ou seja, o processo de descarbonização ao nível global, há um consenso da maior parte dos países e das empresas no sentido de procurar usar as fontes energéticas menos poluentes, de modo a conseguir diminuir os impactos ao meio ambiente. A pressão de origem de todos os campos da sociedade, a consciência da proteção do meio ambiente, passou a ser uma realidade. Diante disso, as tecnologias estão a ser constantemente desenvolvidas a cada dia, com intenção de atender a necessidade. As fontes das energias renováveis figuram sempre nas pautas a serem discutidas nos diferentes eventos. Apesar de muito longe de dominar o cenário, mas, a produção das energias provenientes das fontes renováveis estão crescendo de uma forma exponencial, o que motiva o mundo a concluir que um dia dominarão o mercado.

No meio de todo esse cenário, o hidrogênio não ficou por trás, é considerado o portador de energia versátil, que pode influenciar muito o mundo a enfrentar vários desafios, principalmente das mudanças climáticas, lembrando que as mudanças climáticas podem acarretar muitos outros problemas. Como visto que na combustão do hidrogênio, a única coisa que é produzida é a Água, facto que anima ainda mais, e mostra que com combustíveis desta natureza, é possível diminuir bastante a emissão de CO_2 , ou ainda alcançar a zero emissão. Já que é possível usar esse combustível para diversos fins, isso condiciona qualquer um a fazer afirmação anterior. Mesmo sabendo que é muito raro encontrar o hidrogênio na sua forma pura na natureza, ainda é considerado o elemento mais abundante no universo, portanto, este elemento tem um potencial para ser um dos vetores para a revolução no setor energético.

Apesar das caras tecnologias e baixa eficácia para a produção deste elemento, mas, a sua utilidade e o seu benefício é que está em causa. Não se compara a sua sustentabilidade em relação aos outros, isto é, produzindo-o de uma forma sustentável. Dentre as energias, é considerada a mais flexível, a energia elétrica. Porém, as outras não menos importantes, também estão no centro da discussão. É bem claro que é muito usado os combustíveis fósseis para produção da energia elétrica, de acordo com a matriz energética, se juntar só carvão e gás natural, esses dois elementos compõem mais de metade da produção da energia elétrica ao nível mundial, só isso mostra que ainda estamos com muitos problemas para resolver, o que não é impossível inverter.

Pegando a realidade mundial e trazer para Brasil, é possível observar uma contradição, porque, o Brasil tem outra realidade, sendo o país com matriz elétrica mais renovável do mundo,

mais da metade da matriz é composta das fontes renováveis. Comparando com a matriz elétrica mundial, há uma diferença grande. Todos esses elementos, mostra que ainda dá para renovar a matriz mundial, onde cada um terá a sua responsabilidade para juntos atingirmos a meta. Por além de problemas em produzir energias renováveis, também existe outro ponto, em como armazenar essas energias. São poucas as energias que tem essas propriedades que facilitam o processo de armazenamento, o hidrogênio é uma dessas que podem ser armazenadas por um longo tempo, apesar das dificuldades.

É necessário o investimento na tecnologia da produção do hidrogênio verde, porque, baseado em tudo que já foi falado, não adiante a produção do hidrogênio azul ou cinza, o que fala mais alto é a produção do hidrogênio verde. Sabendo que não temos como armazenar a energia solar ou eólica num grande porte, ou se formos fazer isso, deparáramos com outros problemas na produção das baterias gigantes, o que impactará diretamente o meio ambiente na sua produção, assim como no seu descarte. Vendo isso, produção do hidrogênio verde serve também como uma forma de armazenar essas energias provenientes das fontes renováveis. Pegamos o sol como exemplo, só tem durante dia e em abundante, e não pode ser armazenada, assim como vento, só pode usar no momento que tiver, então, a produção do hidrogênio verde através do eletrólise de água, é uma forma adequada de reservar essas energias, lembrando que tem quase impacto zero ao meio ambiente.

O continente africano que reúne condições para produção deste combustível não ficou de braços cruzados, está fortemente empenhado em fazer isso, pois possui potencial energético renováveis, o que é fundamental para produzir hidrogênio verde, ou seja, o hidrogênio verde só pode ser produzido através das fontes de energia renováveis, e, com atual cenário da África, dá para perceber que vai dar um grande salto futuramente, porque estabeleceu acordos com parceiros que têm tecnologias evoluídas e a África tem energias renováveis. Juntando estas duas coisas, potencial energética renovável e tecnologias evoluídas, atingir o ponto alto fica mais fácil.

O alto preço da produção do hidrogênio verde não deve falar mais alto, porque, produzindo hidrogênio verde, futuramente não causará problemas em comparação com outros combustíveis e o seu rendimento é considerável. Se formos comparar com os preços da produção dos outros combustíveis, veremos que há uma enorme diferença, hidrogênio verde fica mais custo na produção, só que os outros combustíveis impactam mais o meio ambiente, o que é um problema futuro. Em outras palavras, apostando nos outros combustíveis, estaremos adiando

problemas para futuras gerações.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Estudar a viabilidade da produção do hidrogênio verde nos países africanos, através das fontes renováveis;
- Analisar a possibilidade de criação de um eletrolisador no continente africano;
- Analisar quais são os sistemas de transporte e armazenamento mais eficientes para os países africanos;
- Estudar os impactos socioeconômico da integração do hidrogênio verde na matriz energética africana.

REFERÊNCIAS

- Atlas Global Solar. *Global Solar Atlas*. 2020. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/>, urlaccessdate = 06 JAN. 2021, note=Dados publicados na atlas solar global>.
- ADEFARATI, T.; OBIKOYA, G. Evaluation of wind resources potential and economic analysis of wind power generation in south africa. **Trans Tech Publications Ltd, Switzerland**, 2018.
- ADMINISTRATION, E. **Consumo global de energia primária por fonte (2010-2050)**. 2021. Dados publicado no site de Administração de Informações de Energia. Disponível em: <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=49876>>. Acesso em: 24 JAN. 2022.
- ALBUQUERQUE, J. S. *et al.* Produção de energia elétrica a partir de um sistema integrado que utiliza hidrogênio como combustível. Universidade Federal de Campina Grande, 2019.
- AMUZU-SEFORDZI BASIL; HUANG, J. S. D. M.; BADDOOC, T. D. Biomass-derived hydrogen energy potential in africa. Wiley Online Library, 2016.
- ARGUN, H.; KARGI, F. Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: An overview. elsevier, 2011. Disponível em: <[hhttps://booksc.org/ireader/3123061](https://booksc.org/ireader/3123061)>. Acesso em: 31 DEZ. 2021.
- Atlas Global de Vento. **Global Wind Atlas**. 2020. Disponível em: <<https://globalwindatlas.info/>, urlaccessdate={05JAN.2021},note={Dadospublicadosnaatlasglobaldeve}>.
- BHAGWAT, S. R.; OLCZAK, M. Green hydrogen:bridging the energy transition in africa and europe. European University Institute, 2020.
- BIROL, F. World energy outlook 2021. **International Energy Agency**, 2021.
- BRAGA, G. G. A. Aspectos técnicos, econômicos e de sustentabilidade da produção de hidrogênio renovável. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.
- BULAMA, A. National energy masterplan. **Draft Revised Edition**, 2014.
- CARN, N. **African Energy Atlas**. 2020/2021. ed. [S.l.]: African Energy, 2021. v. 1.
- CHANCE, C. Focus on hydrogen: A new energy frontier for africa. Clifford Chance, 2020.
- EPE. **Matriz Energética e Elétrica (Ng)**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>,urlaccessdate={21NOV.2021},note={DadospublicadosnaEmpresadePesquisaEnergética--MatrizEnergéticaeElétr}>.
- ESPINDOLA, J. d. S. Produção fotocatalítica de hidrogênio a partir de soluções de etanol em água. Porto Alegre, RS, 2010.
- GUPTA, R. B. **Hydrogen fuel: production, transport, and storage**. [S.l.]: Crc Press, 2008.
- GUPTA, R. B. **Hydrogen fuel : production, transport, and storage**. [S.l.]: Taylor Francis Group, LLC, 2009.
- IEA. Renewables 2020:analysis and forecast to 2025. IEA, 2020. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

IEA. Renewables 2020:analysis and forecast to 2025. IEA, 2020. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

IEA. **Wind**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewable>,urlaccessdate={04JAN.2021},note={DadospublicadosnaAgenciaInternacionaldeEnergia--Ve}.>

IEA. **Hydrogen**. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/hydrogen>,urlaccessdate={03JAN.2021},note={DadospublicadosnaAgenciaInternacionaldeEnergia--Hidrogê}.>

ISHAQ H., D. I. Comparative assessment of renewable energy-based hydrogen production methods. Renewable and Sustainable Energy, 2021. Disponível em: <<https://booksc.org/book/83405554/70ed40>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

KUMAR, S. **Clean Hydrogen Production Methods**. [S. l.]: Springer International Publishing, 2015. v. 1.

LAMEIRAS, F. L. O hidrogênio como vetor de energia. Rio de Janeiro, RJ: ESG, 2019.

NOGUEIRA, L. A. H.; CARDOSO, R. B. Perspectivas da matriz energética mundial e no brasil. **Revista O Setor Elétrico, São Paulo, Ano**, v. 2, 2007.

PEREIRA, D. I. d. S. *et al.* Avaliação de um reator constituído por eletrodos porosos de níquel para a produção hidrogênio eletrolítico. Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

POPULACIONAIS, L. e E. **As novas projeções da ONU sobre a população brasileira e mundial, artigo de José Eustáquio Diniz Alves**. 2017. Dados publicado no site de Laboratório de Demografia e e Estudos Populacionais. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/ladem/2017/06/28/as-novas-projecoes-da-onu-sobre-a-populacao-brasileira-e-mundial-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 22 JAN. 2022.

PRINZHOFER ALAIN; CISSÉ, C. S. T.; DIALLO, B. A. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in bourakebougou (mali). **Elsevier**, 2018.

WIJK AD VAN; WOUTERS, F. R. S. I. B. **A North Africa - Europe Hydrogen Manifesto**. [S.l.]: Dii Desert Energy, 2019.

Wikimedia Commons. **Map of South Africa with English labels**. 2010. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_South_Africa_with_English_labels.svg,urlaccessdate={17JAN.2022},note={DadospublicadowikimediaCommons--MapofSouthAfr}.>