



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

**DIOSAEL FERREIRA SACRAMENTO**

**ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA DO GÁS NATURAL  
E BREVE PANORAMA DO CONTINENTE AFRICANO**

REDENÇÃO - CE

2023

DIOSAEL FERREIRA SACRAMENTO

**ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA DO GÁS NATURAL  
E BREVE PANORAMA DO CONTINENTE AFRICANO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energias na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Orientadora: Profa. Dra. Rita Karolinny Chaves de Lima.

REDENÇÃO - CE

2023

---

Página reservada para ficha catalográfica.  
DIOSAEL FERREIRA SACRAMENTO

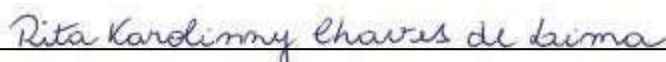
DIOSAEL FERREIRA SACRAMENTO

**ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA DO GÁS NATURAL E  
BREVE PANORAMA DO CONTINENTE AFRICANO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energias na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Aprovado em: 14/12/2023.

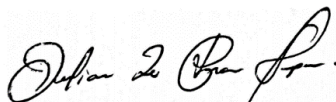
**BANCA EXAMINADORA**



Profa. Dra. Rita Karolinny Chaves de Lima (Orientadora)  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB



Profa. Dra. Artemis Pessoa Guimarães  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB



Dra. Juliana de França Serpa  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

A Deus.

Aos meus pais, Dionísio e Isabel, e  
a todos os meus familiares e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por tudo que tem feito por mim, e estar comigo em todos os momentos da minha vida. Quero agradecer minha mãe Isabel Ferreira da Conceição Lima e meu pai Dionísio Manuel Sacramento Manuel, por ter me ajudado e sempre acreditar em mim, minha mãe é a base de tudo e meu pai a força que sempre precisei. Minha avó Leonilda Sacramento e meu avô Duarte Manuel Sacramento que me criou e sempre me ensinou o caminho certo a seguir.

As minhas tias Maria Manuel Batista, Semoa Manuel Batista, Jake Ferreira, Minha Madrasta Zinha Sanches que também foi suporte da minha criação, a meus tios Regildo Batista, Nino Sacramento, Gilmar Mota, as vossas ajudas e palavras sempre serviram de remédio para me motivar, acalmar o meu coração e renovar as minhas forças para poder continuar a jornada rumo a minha formação acadêmica.

Agradeço também aos meus primos, Helder Batista, Duarte Sacramento, Sidiney Batista, as minhas irmãs Cándida Lopes Ferreira, Márcia Sanches Sacramento, minhas primas Leonilda Sacramento Batista, a meu irmão Fabio Sanches Sacramento. À minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Rita Karolinny Chaves de Lima pelos seus ensinamentos, dedicação, motivação e paciência durante a construção deste trabalho.

À todas as pessoas que durante está trajetória da minha formação me apoiaram de uma forma direta ou indireta. A todos meus colegas do curso de engenharia de energias e a família que eu construí aqui na Unilab durante o processo da minha formação em especial ao De Deus da Silva, Laurindo Namua Mendes. À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), por todos aprendizados adquiridos dentro da instituição durante a minha formação e pelas imensas oportunidades presenteadas.

## RESUMO

A energia pode ser considerada o maior vetor de desenvolvimento do mundo moderno, à medida que tem relação direta com o crescimento econômico, industrial e tecnológico das nações e impacta a forma como seus habitantes vivem. As muitas atividades humanas são, assim, movidas pelas diferentes formas de energia que são mantidas pelo uso de recursos da natureza. Esse patrimônio energético natural da humanidade encontra-se distribuído de modo diverso por toda a extensão do planeta. Na conjuntura complexa das regiões continentais, destaca-se a África, com suas conhecidas reservas de petróleo, exploradas majoritariamente para suprir o consumo internacional, e com seu expoente crescente de novas descobertas de volumes de gás natural, recurso que é considerado estratégico para fomentar o movimento global de transição energética para matrizes mais limpas e sustentáveis. De menor intensidade de carbono, o gás natural é o menos poluente dos combustíveis fósseis, o que o credencia como uma alternativa melhor que o petróleo, e o carvão mineral, para manter a segurança e estabilidade energética frente a intermitência das fontes renováveis. Com os apelos ambientais, a indústria do gás vem, assim, ganhando renovado interesse e se consolida em uma cadeia de valor que envolve uma série de etapas, desenvolvidas por meio de atividades de exploração, produção, tratamento, beneficiamento, transporte e distribuição de derivados comerciais. Diante deste cenário, buscou-se, por meio deste estudo, não apenas oferecer uma visão geral da indústria do gás natural, mas também destacar a importância do continente africano nesse contexto mundial, explorando suas contribuições, desafios e potencialidades para o setor energético global. Os resultados mostraram que o mercado de gás natural está passando por uma fase de rápida evolução, com mudanças significativas na produção, distribuição e consumo em todo o mundo. A demanda continua a crescer, impulsionada pela necessidade de energia mais limpa, enquanto os avanços tecnológicos e as mudanças nas políticas energéticas globais estão moldando a paisagem do mercado e determinando seu futuro. No que diz respeito a África, a depender dos investimentos voltados para construção de infraestrutura de extração e exportação, o continente pode, nos próximos anos, contribuir consideravelmente para disponibilidade de gás no mundo, colocando uma série de novos intervenientes no mercado, tais como Mauritânia, Senegal, Tanzânia, África do Sul, Etiópia, Marrocos e, principalmente, Moçambique.

**Palavras-chave:** descarbonização; indústria do gás natural; cenário energético africano.

## ABSTRACT

Energy can be considered the greatest driver of development in the modern world, as it is directly related to the economic, industrial, and technological growth of nations and impacts how their inhabitants live. Many human activities are thus powered by different forms of energy derived from the use of natural resources. This natural energy heritage of humanity is distributed diversely across the planet. In the complex context of continental regions, Africa stands out, with its well-known oil reserves, primarily exploited to meet international consumption, and with its increasing exponent of new discoveries of natural gas volumes, a resource considered strategic to foster the global movement towards cleaner and more sustainable energy matrices. With lower carbon intensity, natural gas is the least polluting of fossil fuels, which qualifies it as a better alternative than oil and coal to maintain energy security and stability in the face of the intermittency of renewable sources. With environmental appeals, the gas industry is thus gaining renewed interest and consolidating into a value chain that involves a series of stages, developed through exploration, production, treatment, beneficiation, transportation, and distribution of commercial derivatives. In this scenario, this study sought not only to provide an overview of the natural gas industry but also to highlight the importance of the African continent in this global context, exploring its contributions, challenges, and potentialities for the global energy sector. The results showed that the natural gas market is undergoing a phase of rapid evolution, with significant changes in production, distribution, and consumption worldwide. Demand continues to grow, driven by the need for cleaner energy, while technological advancements and changes in global energy policies are shaping the market landscape and determining its future. With regard to Africa, depending on investments aimed at the construction of extraction and export infrastructure, the continent can significantly contribute to the availability of gas in the world in the coming years, bringing in a series of new market players, such as Mauritania, Senegal, Tanzania, South Africa, Ethiopia, Morocco, and mainly Mozambique.

**Keywords:** decarbonization; natural gas industry; African energy landscape.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Principais componentes do gás natural .....	19
Figura 2 –	Classificação do gás natural quanto à sua ocorrência na natureza .....	21
Figura 3 –	Comparação de emissões de combustíveis fósseis por BTU .....	24
Figura 4 –	Principais etapas da cadeia produtiva do gás natural.....	25
Figura 5 –	Segmentos da cadeia produtiva do gás natural.....	26
Figura 6 –	Plataforma de produção de gás natural: Troll Alpha da empresa Statoil .....	29
Figura 7 –	Distribuição por região do mundo das reservas provadas de gás natural em 2020.....	46
Figura 8 –	Participação das diferentes regiões na produção mundial de gás natural em 2022 .....	49
Figura 9 –	Participação mundial dos treze maiores produtores de gás em 2022.....	50
Figura 10 –	Participação das diferentes regiões no consumo mundial de gás natural em 2022 .....	52
Figura 11 –	Participação mundial dos sete maiores importadores de gás natural em 2021.....	55
Figura 12 –	Ranking dos sete maiores importadores mundiais de gás natural em 2021 .....	55
Figura 13 –	Participação das diferentes regiões exportadoras mundial de gás natural em 2022 .....	56
Figura 14 –	Participação mundial dos dez maiores exportadores de gás natural em 2021 .....	56
Figura 15 –	Os dez maiores exportadores mundiais de gás natural em 2021 .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição típica do gás natural .....	19
Tabela 2 – Gás natural versus outros combustíveis fósseis: redução das emissões de CO <sub>2</sub> .....	23
Tabela 3 – As maiores reservas provadas de gás natural do mundo em 2020 .....	46
Tabela 4 – Treze maiores produtores de gás natural do mundo em 2022 em relação a 2020/2021 .....	49
Tabela 5 – Maiores consumidores mundiais de gás natural em 2022 em relação a 2020/2021 .....	54
Tabela 6 – As maiores reservas provadas de gás natural do continente africano em 2020.....	58
Tabela 7 – Os quatro maiores produtores de gás natural da África em 2022 em relação 2020/2021.....	59
Tabela 8 – Os maiores consumidores de gás natural da África em 2022 em relação a 2020/2021.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIE	Agência Internacional de Energia
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANPG	Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
CPLP	Comunidade dos Países de Língua Portuguesa
BCS	Bombeio Centrífugo submerso
BCP	Bombeio por Cavidades Progressivas
BOP	Blowout Preventer
BP	British Petroleum
BM	Bombeio Mecânico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BPD	Barris de Petróleo por Dia
CBIE	Centro Brasileiro de Infraestrutura
CEA	Câmara Africana de Energia
CEI	Comunidade dos Estados Independentes
CNI	Confederação Nacional da Indústria
COPA	Concessionária de Petróleos de Angola
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CPP	Contrato de Partilha da Produção
ENI	Ente Nazionale Idrocarburi
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERMs	Estações de Regulação e Medição
EUA	Estados Unidos da América
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading
GL	Gás Lift
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
GLP	Gás Liquefeito do Petróleo
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INEEP	Instituto de Estudos Estratégicos de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OPEP+	Organização dos Países Exportadores de Petróleo e Aliados
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PSA	Production Sharing Agreement
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SPAFE	Société l'Afrique Equatoriale
UE	União Europeia
UFLs	Unidades de Fracionamento de Líquidos
UFPAD	Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Descarga
UPCGN	Unidades de Processamento de Condensado de Gás Natural
UPGNs	Unidades de Processamento de Gás Natural
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
	2.1 Definição, Composição, Origem e Classificação do Gás Natural.....	17
	2.2 Importância Energética e Vantagens do Gás Natural.....	22
	2.3 Cadeia Produtiva do Gás Natural.....	25
	2.3.1 Exploração e Produção.....	26
	2.3.2 Beneficiamento.....	30
	2.3.3 Transporte.....	33
	2.3.3.1 Gás Natural Comprimido (GNC).....	33
	2.3.3.2 Gasodutos.....	34
	2.3.3.3 Gás Natural Liquefeito (GNL).....	36
	2.3.4 Armazenamento.....	37
	2.3.5 Distribuição.....	39
	2.4 Fatos Históricos do Gás Natural no Mundo.....	39
	2.5 Fatos Históricos Do Gás Natural Na África.....	41
3	METODOLOGIA.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
	4.1 Maiores Reservas, Produtores e Consumidores de Gás Natural do Mundo.....	45
	4.2 Importações e Exportações mundiais de Gás Natural.....	54
	4.3 Maiores Reservas, Produtores e Consumidores de Gás Natural da África.....	57
5	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

O uso da energia remonta à pré-história, quando os primeiros seres humanos começaram a utilizar o fogo para se aquecer, cozinhar alimentos e se proteger de animais selvagens. A descoberta de novas fontes de energia evoluiu conforme o avanço das civilizações e o aumento da demanda energética. A partir do século XVIII, com a utilização do carvão mineral em máquinas a vapor (um marco na Revolução Industrial), surgiu um grande interesse global nos combustíveis fósseis (Pereira, 2019). Esses recursos naturais não renováveis se originam da decomposição de organismos enterrados há milhões de anos, incluindo carvão, petróleo e gás natural (Borsato; Galão; Moreira, 2007).

Ao final do século XX, ocorreram profundas questões geopolíticas relacionadas ao uso do gás natural. A crise energética mundial de 1970 e os avanços tecnológicos na exploração e produção do gás natural impulsionaram o desenvolvimento de novas fontes energéticas, como alternativa à dependência do petróleo e ao aumento dos preços no mercado internacional. Distinto de outros combustíveis fósseis, o gás natural possui menor intensidade de carbono, o que torna sua combustão mais limpa. Sua cadeia produtiva é semelhante à cadeia do petróleo, mas possui particularidades técnicas no que tange ao seu beneficiamento e às atividades de caráter logístico (Almeida; Colomer, 2013).

Na última década, o movimento de transição energética que o mundo promove para priorizar fontes mais sustentáveis, renovou o interesse pelo gás natural, uma vez que seu uso emite consideravelmente menos óxidos de nitrogênio e partículas finas, bem como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por unidade de energia, em comparação com o carvão e o petróleo. Além disso, como o gás natural pode ser rapidamente ajustado para atender à demanda de energia, é visto como um recurso que pode complementar fontes intermitentes de energia renovável, como solar e eólica. O gás pode, assim, ser usado para preencher lacunas quando a produção dessas fontes é baixa, proporcionando uma fonte de energia confiável e flexível (Tavares, 2021).

Inovações tecnológicas, como a captura e armazenamento de carbono (CCS), têm sido aplicadas para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao uso do gás natural, tornando-o ainda mais atraente como parte de uma matriz energética de transição. No entanto, o papel do gás natural na transição energética não é isento de controvérsias. Seu status como combustível de transição é debatido devido ao potencial

de vazamento de metano (um gás de efeito estufa mais potente que o CO<sub>2</sub>) durante sua produção e transporte (Koop, 2022).

Globalmente, 64% das 10 principais descobertas de petróleo em 2018 foram de gás natural. Segundo a Agência Internacional de Energia – AIE (2019), a demanda global de gás natural cresceu 4,6% em 2018, impulsionada pelo forte crescimento econômico e pela transição da energia elétrica de carvão, devido a estratégias de mudanças climáticas, entre outros fatores. O gás foi responsável por quase metade do crescimento global da demanda por energia, com China e Estados Unidos liderando o consumo.

O gás natural liquefeito (GNL) tem ganhado importância significativa no suprimento global de gás. Preocupações com segurança energética levaram governos a estimular a diversificação dos fornecedores de gás, resultando na construção de terminais de GNL. Em 2019, as transações comerciais de GNL alcançaram 354,2 bilhões de metros cúbicos, representando 38,3% do total comercializado naquele ano (BP, 2020). Com os avanços tecnológicos e a expansão da capacidade de produção e liquefação em várias regiões do mundo, espera-se que o mercado de GNL continue a crescer e evoluir para atender à crescente demanda por energia limpa e acessível em escala global.

No mercado ascendente do gás natural, as novas reservas africanas descobertas a partir do ano de 2010 vêm se destacando por seus grandes volumes e pelo potencial de tornar Moçambique um dos maiores exportadores de GNL do mundo. A África, terceiro maior continente do globo, abriga diversas riquezas naturais, incluindo, além de gás petróleo e diamantes, distribuídos em seus 30 milhões de quilômetros quadrados e cinquenta e quatro países. No que diz respeito as reservas africanas de gás, em 2021 as mesmas foram estimadas em 625,6 trilhões de pés cúbicos, quase equivalentes àquelas dos Estados Unidos.

Se a África conseguir desenvolver adequadamente seus recursos naturais, poderá fortalecer sua posição na cadeia global de suprimento de energia e fornecer energia acessível não apenas para seu povo, mas para o mundo inteiro. Com uma população estimada em 1,45 bilhão em 2023, correspondendo a 18,1% da população mundial, a região enfrenta complexos desafios econômicos e de qualidade de vida e possui uma grande diversidade étnica e cultural (LNG Industry, 2023; Nations Online, 2022; Alves, 2019).

Geograficamente, a África é dividida em várias regiões, como África Ocidental, Central, Oriental e Austral. Outra divisão considera a África do Norte,

composta por países como Argélia, Egito e Líbia, e a África Subsaariana, situada abaixo do deserto do Saara (Guitarrara, 2022; Bezerra, 2021). A região da África Subsaariana tem ganhado relevância no cenário mundial de produção de gás natural. A produção na região aumentou de 16,7 bilhões m<sup>3</sup> em 2008 para 26 bilhões m<sup>3</sup> em 2017, de acordo com a Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP (2018). Enquanto na parte norte da África, países como Argélia, Egito e Líbia lideram a produção e consumo do continente, contribuindo com grande parte das exportações para a Europa.

Com base na relevância mundial que o gás natural vem ganhado como fonte energética de transição e do forte contexto econômico que esse recurso natural tem na África, o presente trabalho teve como objetivo levantar e descrever aspectos que fundamentam o funcionamento da indústria do gás, passando pelas etapas de sua cadeia produtiva e pela história dessa commodity no mundo. Além disso, com base em fatos históricos e em dados referentes a reservas, consumo, produção e comercialização, procurou-se apresentar um breve panorama da realidade do gás natural no continente africano.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Definição, Composição, Origem e Classificação do Gás Natural

O termo "gás" tem suas raízes na Grécia Antiga – é derivado da palavra "chaos" (χάος), que significa vazio ou espaço vazio – mas só foi formalmente introduzido na terminologia científica no século XVII (Era Moderna). O responsável pelo feito inicial foi o filósofo, médico e químico belga Joan Baptista Van Helmont que, nos anos 1600, buscou nomear, em um conceito amplo, uma “entidade” invisível e sutil que, segundo ele, era responsável por processos fisiológicos e patológicos do corpo humano e por certos fenômenos observados na natureza. Após isso, a ideia de gás foi refinada ao longo dos séculos por pensadores como Robert Boyle e Joseph Priestley, que contribuíram fortemente para o entendimento da natureza dos gases e suas propriedades (Marques, 2019; Porto, 2001).

Na visão contemporânea, o conceito de gás é amplo e abrange substâncias que não possuem forma ou volume fixos e que preenchem completamente qualquer recipiente em que são colocados. As moléculas de um gás estão em movimento constante e aleatório, colidindo eventualmente umas com as outras e com as paredes dos recipientes. Os grandes espaços vazios existentes entre as moléculas resultam na capacidade dos gases de se expandirem e se contraírem facilmente em resposta a mudanças de temperatura e pressão. Oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono e hidrogênio são exemplos dos muitos gases encontrados na natureza (Brown et al., 2016).

O termo "gás natural", por sua vez, refere-se especificamente ao tipo de gás que frequentemente é encontrado na natureza em associação ou não a depósitos de petróleo e cuja composição inclui majoritariamente hidrocarbonetos leves, como metano (em maior proporção) e etano, entre outros. Por se tratar de uma fonte de energia valiosa, o gás natural é explorado e utilizado de forma extensiva e seu conceito surgiu ao longo de uma trajetória histórica marcada por observações antigas e desenvolvimentos científicos progressivos. Registros da literatura indicam que o gás natural era conhecido por civilizações remotas, porém, sem que houvesse uma compreensão científica profunda de sua constituição ou origem. O entendimento moderno do gás natural começou a se consolidar apenas no século XVIII, quando os cientistas iniciaram investigações mais detalhadas sobre os gases em geral (Speight, 2019; Teixeira, 2015).

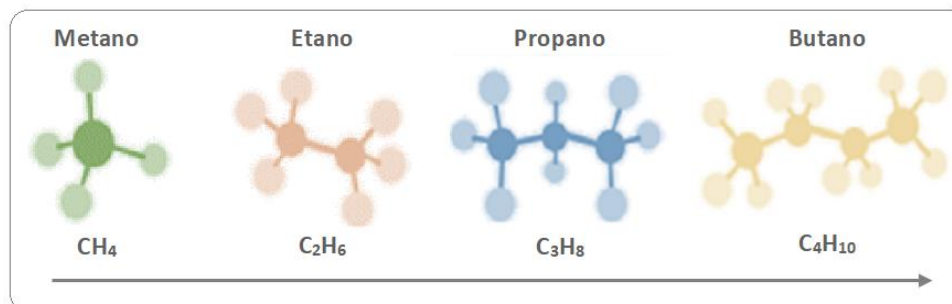
Na vasta literatura do setor de energia são encontradas inúmeras definições para gás natural. De acordo com a Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP (2023), o gás natural é uma combinação de hidrocarbonetos e pequenas quantidades de compostos não-hidrocarbonetos, presentes na fase gasosa, ou dissolvidos no petróleo, em reservatórios naturais subterrâneos. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2021), por sua vez, designa gás natural como “todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, cuja composição poderá conter gases úmidos, secos e residuais”. Fernández, Pedrosa Júnior e Pinho (2009) explicam que:

- gás úmido é o “gás rico em metano, que contém vapor d’água, etano, propano e hidrocarbonetos mais pesados;
- gás seco é o “gás natural composto de metano e etano, sem concentrações significativas de quaisquer frações de hidrocarbonetos mais pesados”;
- gás residual é o “gás natural deixado na rocha-reservatório após o fim da produção convencional de gás” ou “gás remanescente após a retirada de gás natural liquefeito do gás natural”.

Para Vaz, Maia e Santos (2008), o gás natural é a porção de petróleo que nas condições de pressão e temperatura de reservatório existe na fase gasosa, ou em solução no óleo, e que permanece no estado gasoso nas condições atmosféricas de pressão e temperatura. Almeida (2005) acrescenta que se trata de uma mistura de origem fóssil, caracteristicamente constituída por hidrocarbonetos de baixas massas molares. Vale mencionar que além do estado gasoso, os hidrocarbonetos podem ser encontrados na natureza como líquidos e sólidos e são compostos formados essencialmente por átomos de hidrogênio (H) e carbono (C), unidos em variados arranjos moleculares.

A composição do gás natural pode variar significativamente de um local para outro, com o metano respondendo tipicamente por 70 a 90% do total de hidrocarbonetos. Além do metano, o gás natural pode conter etano (3% a 10%), propano (1% a 3%), butano (0,5%) e até mesmo quantidades menores de pentano e hidrocarbonetos mais pesados. Gases não combustíveis, como nitrogênio, dióxido de carbono e enxofre, bem como traços de gases raros também podem ser encontrados. As porcentagens de cada componente variam dependendo da origem do gás e dos processos de produção (Gauto, 2016; Thomas, 2004). As fórmulas moleculares dos principais hidrocarbonetos presentes no gás natural são mostradas na Figura 1.

Figura 1- Principais componentes do gás natural.



Fonte: adaptado de Muñoz, Gomes e Hollanda (2014).

Na Tabela 1 tem-se as frações molares médias típicas dos constituintes do gás natural, segundo o disposto por Guo e Ghalambor (2005). Conforme pode ser observado, o metano é o principal componente do gás natural – quanto maior for sua proporção, mais eficiente será a mistura como combustível, já que o metano tem maior poder calorífico (maior quantidade de energia que pode ser liberada durante a combustão) em comparação com outros hidrocarbonetos, como etano, propano ou butano (Garcia, 2013; Turns, 2013).

Tabela 1- Composição típica do gás natural.

Composto	Fração Molar
Metano	0,8407
Etano	0,0586
Propano	0,0220
i-Butano	0,0035
n-Butano	0,0058
i-Pentano	0,0027
n-Pentano	0,0025
Hexano	0,0028
C7+	0,0076
Dióxido de Carbono	0,0130
Sulfeto de Hidrogênio	0,0063
Nitrogênio	0,0345
Total	1,0000

Fonte: elaboração própria, com base em dados de Guo e Ghalambor (2005).

No que diz respeito a origem do gás natural, a presença de depósitos de misturas de hidrocarbonetos no planeta Terra, sejam líquidos ou gasosos, é explicada pela chamada teoria orgânica (também conhecida como biogênica), que se baseia em eventos biológicos e é a mais amplamente aceita (Brito, 2021). Nessa perspectiva, defende-se que, assim como o petróleo, o gás natural é formado por meio da decomposição, em ambiente sedimentar e de altas profundidades, de restos de animais e plantas, ao longo de milhões de anos e sob condições termais e de pressão próprias (Bicego et al., 2008, Dembick Jr., 2017).

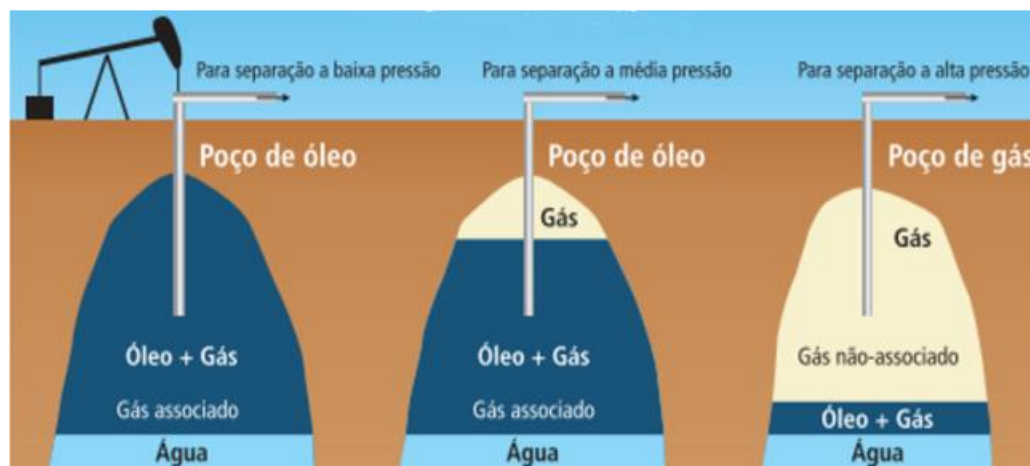
O processo de geração do petróleo e do gás natural se inicia na rocha mãe, que é uma formação sedimentar que possui porosidade e permeabilidade. Posteriormente, as fases geradas migram por camadas rochosas adjacentes até se concentrar em uma estrutura geológica conhecida como reservatório, que é composta por rocha reservatório (permeável) e rocha capeadora (impermeável) (Rosa; Carvalho; Xavier, 2006). Em suma, o processo de formação do gás em si envolve três contribuições distintas: decomposição da matéria orgânica por bactérias, alteração térmica de hidrocarbonetos líquidos e migração através rochas porosas e permeáveis (Baird; Cann, 2011; Carrol, 2009; Mango; Hightower; James, 1994).

As reservas de petróleo e gás natural podem existir tanto em áreas terrestres (onshore) quanto em ambientes marítimos (offshore), em bacias sedimentares distribuídas por várias regiões do mundo, principalmente ao longo das regiões costeiras (PETROBRAS, 2023a; Pinto, 2022). Como o processo geológico que dá origem a misturas de hidrocarbonetos na natureza é muito lento, a taxa de consumo do gás natural é muito maior do que a taxa de formação, tornando-o um recurso finito e não renovável em escala humana de tempo (Farias, 2008). A finitude do gás natural tem implicações que vão desde o mercado e economia até questões ambientais e tecnológicas, influenciando políticas energéticas e estratégias de desenvolvimento, em níveis nacional e global, que incluem esforços para diversificar as fontes de energia e investir em alternativas renováveis e mais sustentáveis (Bona, 2020).

De acordo com sua ocorrência na natureza, o gás natural pode ser classificado como: (i) gás associado – quando produzido de campos com predominância de óleo, em que pode estar dissolvido na fase oleosa ou acumulado na forma de uma camada de gás livre; (ii) gás não associado – produzido em campos com predominância de gás e pouco óleo ou condensado (Gonzaga, 2014). No caso de reservatórios de óleo contendo gás associado, o gás separado passa a ser considerado um coproduto, enquanto que o gás não associado é obtido em extensas quantidades diretamente do reservatório,

sendo pequena a parcela de produção de petróleo (Vieira et al., 2005). O gás não-associado apresenta maiores teores de metano, enquanto que o gás associado apresenta porções de etano, propano, butano e hidrocarbonetos mais pesados (Santana, 2006). A Figura 2 ilustra reservatórios de ambos os tipos de gás.

Figura 2- Classificação do gás natural quanto à sua ocorrência na natureza.



Fonte: Vieira et al. (2005).

No caso de reservas de petróleo contendo gás natural associado, a produção de gás é determinada diretamente pela produção de óleo. Se não houver condições econômicas ou técnicas para a sua comercialização, o gás natural é reinjetado no reservatório ou mesmo queimado, a fim de evitar o acúmulo de gases combustíveis próximo aos poços de petróleo. Globalmente, as reservas de gás natural não-associado são mais abundantes em quantidade em comparação com as reservas de gás associado (Anosike; El-Suleiman; Pilidis, 2016; Portal Gás Energia, 2005; Santos et al., 2002). No entanto, a distribuição dessas reservas varia de acordo com as regiões. Em alguns lugares, como certas bacias petrolíferas, pode haver uma concentração maior de gás natural associado devido à geologia específica dessas áreas.

No que se refere a África, em particular, o continente possui uma grande diversidade geológica, o que resulta em variações significativas na distribuição das reservas de gás natural. Países como Moçambique e Tanzânia são conhecidos por possuírem consideráveis reservas de gás natural não-associado. Argélia, Angola, Egito, Líbia e países da região do Golfo da Guiné, como Nigéria, Guiné Equatorial, Gabão e Congo, são conhecidos por suas reservas de petróleo e gás natural associado (Abbas; Ermakov, 2023; New Climate Institute; Climate Analytics, 2022; Panford, 2017; Schlüter, 2008; Arthur; Macgregor; Cameron, 2003).

## 2.2 Importância Energética e Vantagens do Gás Natural

O gás natural tem sido amplamente utilizado como fonte de energia para impulsionar o desenvolvimento econômico no mundo. O melhor aproveitamento de seu potencial energético ocorre por meio dos derivados comerciais obtidos em Unidades de Processamento de Gás Natural – UPGNs ou, ainda, em instalações específicas, como as Unidades de Fracionamento de Líquidos – UFLs e as Unidades de Processamento de Condensado de Gás Natural – (UPCGN).

Com múltiplas aplicações e vantagens associadas, a contribuição do gás natural para a segurança energética e geração de riquezas em diversos países é relevante. Em termos operacionais e tecnológicos, o gás se destaca em relação a outros combustíveis fósseis devido à fatores como (PBGAS, 2021; Almeida; Ferrano; Pinto Júnior, 2013; Vieira et al., 2005):

- queima mais limpa e melhor custo-benefício;
- alto rendimento térmico – uma vez que se opera com excesso mínimo de ar;
- menor tendência a provocar corrosão – o que diminui a necessidade de intervenções de manutenção e aumenta a vida útil dos equipamentos;
- maior eficiência energética – proporciona uma queima mais completa, com menos desperdício de energia durante a geração de eletricidade ou aquecimento;
- menor inflamabilidade, comparado a gasolina e querosene – o que diminui o risco de explosões durante o transporte;
- logística de transporte flexível e eficiente – devido à sua menor densidade, o gás natural pode ser transportado de forma eficaz na forma comprimida (Gás Natural Comprimido – GNC) ou liquefeita (Gás Natural Liquefeito – GNL). O processo de liquefação reduz significativamente o volume, facilitando o transporte a longas distâncias por navios-tanque, por exemplo. Além disso, o gás pode ser suprido diretamente ao consumidor por meio de sistema canalizado, o que agiliza o fornecimento, otimiza o uso de espaços e reduz gastos com armazenamento.

Cabe ressaltar que a eficiência do gás natural pode variar dependendo do contexto específico de uso, das tecnologias empregadas e das condições de operação. Em certos cenários, outras fontes de energia, como nuclear ou renováveis, podem apresentar eficiências igualmente altas ou até superiores, mas cada uma tem suas

vantagens e limitações próprias. A nuclear, por exemplo, é reconhecida por sua produção de energia consistente (as usinas podem operar continuamente por longos períodos, pois não dependem de condições climáticas), mas enfrenta preocupações relativas à segurança e ao gerenciamento de resíduos radioativos. Por outro lado, as fontes renováveis, como a solar e a eólica, são abundantes e ambientalmente mais amigáveis, embora possam ser intermitentes e requerer armazenamento eficiente para garantir um suprimento contínuo de energia (Origo Energia, 2023; Oliveira, 2022; Hildebrand, 2019).

Comparada a de outros combustíveis fósseis, a combustão do gás natural produz menos dióxido de carbono (que é o principal gás do efeito estufa), dióxido de enxofre (precursor primário da chuva ácida), óxidos de nitrogênio (precursor primário da névoa de poluição) e material particulado (afeta a saúde e a visibilidade). Na Tabela 2 são indicados os percentuais médios de redução da quantidade de CO<sub>2</sub> por unidade de energia gerada (BTU – British Thermal Unit) proporcionados pelo uso de gás natural (EIA, 2023; Santos et al., 2002).

Tabela 2 - Gás natural versus outros combustíveis fósseis: redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

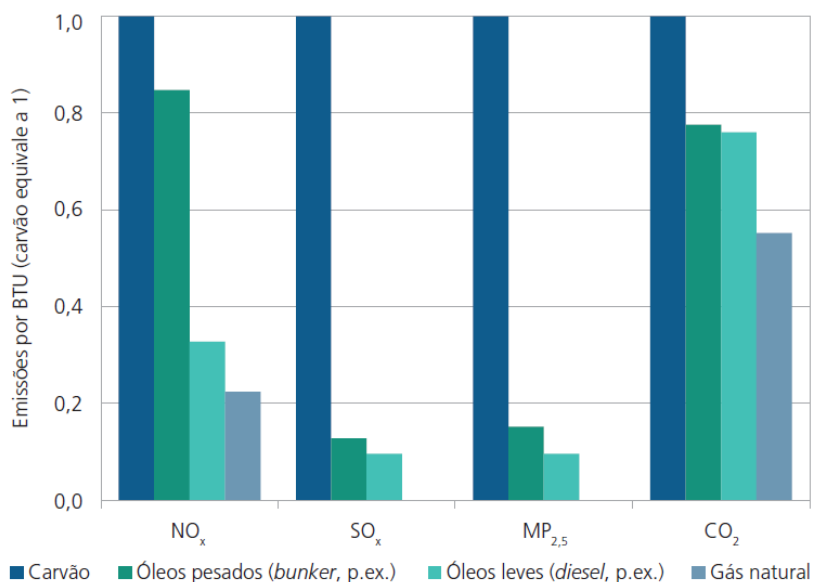
Fonte Fóssil	Percentual Médio de Redução (%)
Carvão	44
Petróleo	27
Óleo combustível	33
Gasolina	26
Óleo diesel	27
GLP	17

Fonte: elaboração própria com base em EIA (2023).

Conforme observado na Figura 3, os valores de redução de emissões de óxidos de nitrogênio ficam na ordem de 75% se considerado o carvão mineral, 70% se considerados óleos pesados e 35% se considerados óleos leves, enquanto que as emissões de dióxido de enxofre e materiais particulados finos podem ser quase zeradas frente a qualquer um desses três combustíveis mencionados (Teixeira et al., 2021; IGU, 2016). É relevante destacar que para que as emissões poluentes sejam minimizadas ao máximo é necessário que o gás natural seja utilizado em equipamentos adaptados e apropriados para sua combustão. Equipamentos construídos originalmente para operar

com gás natural fornecerão maiores benefícios, enquanto que os adaptados podem reduzir a eficiência de operação (Santos et al., 2002).

Figura 3 - Comparação de emissões de combustíveis fósseis por BTU.



Fonte: Teixeira et al. (2021); IGU, (2016).

O interesse mundial por gás natural tem crescido nas últimas duas décadas (2010 e 2020). A expansão das infraestruturas de transporte e distribuição permitiu um acesso mais amplo a esse recurso, tornando-o uma escolha atraente para o aquecimento residencial, comercial e industrial. Além disso, a crescente conscientização sobre os impactos ambientais levou muitos países a investir no gás natural para geração de energia para residências e empresas, transporte terrestre e marítimo, produção de eletricidade e manufatura de diversos produtos (API, 2021).

Nos próximos anos, com o avanço da transição para um sistema energético mais sustentável, o gás natural deve ganhar cada vez mais espaço no cenário global, substituindo fontes de energia mais poluentes e servindo como ferramenta estratégica para o início da descarbonização gradual pretendida pelo mundo (Teixeira et al., 2021; González-De León; Scipio-Cimetta, 2022).

O gás deve atuar também como uma fonte complementar para as renováveis, como a solar e eólica. Sua capacidade de fornecer energia de base constante, ajudando a estabilizar a oferta, é importante para compensar a intermitência das energias renováveis, garantindo um suprimento contínuo e confiável de eletricidade (Gürsan; de Gooyert, 2021; EPE, 2018a). Quando combinado com tecnologias de armazenamento avançadas, o gás proporciona ainda grande flexibilidade na gestão da

oferta e demanda de energia, contribuindo para a estabilidade do mercado. Segundo o estudo World Energy Outlook, da Agência Internacional de Energia – AIE, o gás natural é o único combustível fóssil que manterá participação no mix energético das próximas décadas, apoiado por políticas de redução de emissões (AIE, 2017).

### 2.3 Cadeia Produtiva do Gás Natural

O conceito de cadeia produtiva surgiu como uma abordagem para compreender o funcionamento sistêmico das operações produtivas e baseia-se na ideia de que a fabricação de bens pode ser entendida como um sistema complexo, em que diferentes participantes estão conectados por meio de fluxos de materiais, recursos financeiros e informações. Esse sistema tem como meta fornecer produtos ao mercado consumidor final (Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018; Chopra; Meindl, 2010). Prado (2020) explica, de forma resumida, que uma cadeia produtiva “nada mais é do que um conjunto de etapas consecutivas ao longo da produção, as quais os diversos insumos (matérias-primas) são transformados em um bem ou serviço”.

Nesse sentido, a cadeia produtiva do gás natural representa, em uma série de etapas, o percurso que o gás bruto faz desde a sua retirada dos reservatórios naturais subterrâneos, onde se encontra depositado, até chegar ao consumidor final, na forma de produto especificado para diversas aplicações. Na Figura 4 são indicadas, em uma sequência simplificada, as principais etapas que constituem a cadeia produtiva do gás natural, incluindo atividades de exploração, produção, beneficiamento, transporte e distribuição (Silva; Pereira, 2012).

Figura 4 - Principais etapas da cadeia produtiva do gás natural.

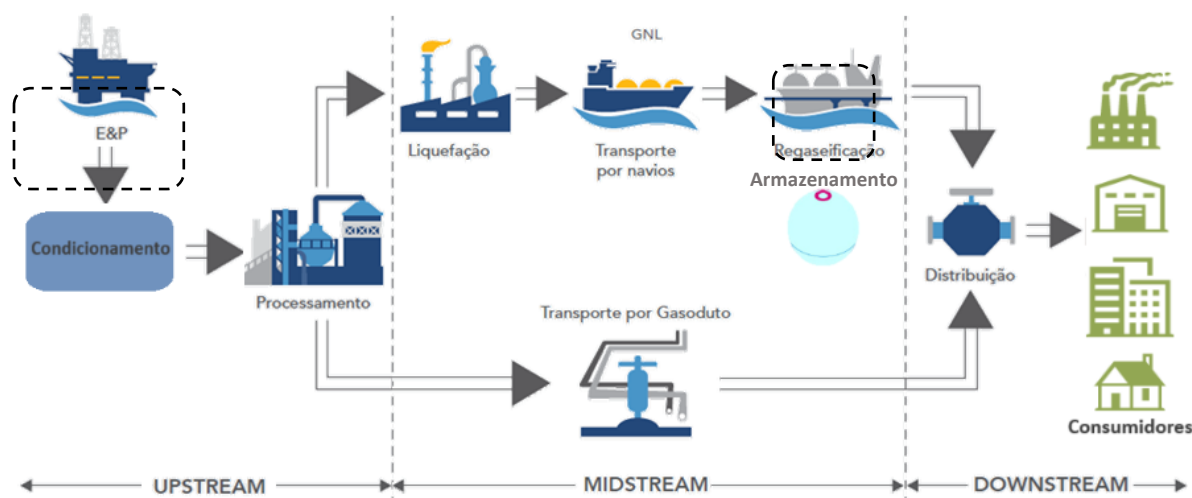


Fonte: elaboração própria.

Conforme ilustrado na Figura 5, a cadeia produtiva do gás natural, assim como a do petróleo, é dividida em três segmentos (Soares, 2016; Muñoz; Gomes; Hollanda, 2014), descritos a seguir.

- (i) Upstream – corresponde as atividades de exploração, produção e beneficiamento do gás.
- (ii) Midstream – se refere as atividades de transporte, armazenamento, liquefação (para obtenção de gás natural liquefeito – GNL), transporte por navios e regaseificação do GNL nos destinos de consumo.
- (iii) Downstream – envolve as atividades de distribuição e comercialização de gás ao consumidor final.

Figura 5 - Segmentos da cadeia produtiva do gás natural.



Fonte: adaptado de Muñoz; Gomes; Hollanda (2014).

Vale destacar que embora a estrutura principal da cadeia produtiva do gás natural (exploração, produção, beneficiamento, transporte, distribuição e consumo) seja semelhante no mundo todo, a forma como as etapas são implementadas pode variar devido aos diferentes contextos geográficos, regulatórios, tecnológicos e econômicos, próprios de cada país.

### 2.3.1 Exploração e Produção

A fase inicial da cadeia produtiva do petróleo e do gás natural envolve a exploração e a produção. Essas etapas são altamente complexas e demandam tecnologia avançada e uso de equipamentos especializados de alto custo. Tais recursos são essenciais para viabilizar todo o processo, que vai desde a busca pelas jazidas de gás natural até a extração e separação das fases encontradas (que podem compreender óleo, gás e água), podendo incluir também o tratamento de cada uma (Queiroz, 2015).

A exploração visa localizar e estimar em quantidade novas jazidas de hidrocarbonetos. Para tal são realizados estudo geológico da área investigada, análises geoquímicas do subsolo, identificação de um possível reservatório e confirmação de sua existência por meio da perfuração de um poço exploratório. Adicionalmente, há a avaliação do potencial comercial da jazida para verificar se os volumes verificados são viáveis para produção em larga escala (BNDES, 2009).

As atividades exploratórias são marcadas pelo alto risco inerente à prospecção, uma vez que se trabalha com a incerteza da descoberta de uma nova jazida (Silveira, 2000). Em áreas com limitações no conhecimento geológico, esse cenário é ainda mais crítico, o que resulta em maiores despesas de operação. O mapeamento geológico e o processamento geofísico, que precedem a perfuração de poços exploratórios, são instrumentos que contribuem para deixar a busca de novas jazidas menos arriscada e diminuir a taxa de insucesso. Gerenciar os riscos exploratórios e os custos operacionais associados é um dos principais desafios enfrentado no segmento upstream da indústria de petróleo e gás (Muñoz; Gomes; Hollanda, 2014).

Para realizar os estudos geológicos se faz uso de recursos como fotografias aéreas, imagens de satélites e/ou mapas topográficos dos locais avaliados. Uma vez que os estudos geológicos apontem áreas com grande potenciais de conter depósitos de óleo e/ou gás é feito também o levantamento de dados geofísicos, utilizando métodos potenciais e, acima de tudo, sísmica de reflexão (Thomas, 2004).

A gravimetria e a magnetometria são os métodos potenciais mais utilizados na exploração de petróleo e gás. A gravimetria mede as variações do campo gravitacional da Terra para identificar a presença, em subsuperfície, de rochas de diferentes densidades. A magnetometria utiliza sensores magnéticos para detectar variações no campo magnético da Terra, que decorrem da existência, em subsuperfície, de rochas magnetizadas distribuídas irregularmente. Importa ressaltar que tais métodos oferecem apenas informações preliminares sobre as estruturas geológicas de subsuperfície, devendo seus resultados ser analisados em conjunto com dados sísmicos (Dias; Braga, 2000).

A sísmica de reflexão é o método mais importante e, que por isso concentra a maior parte dos investimentos, na exploração de petróleo e gás. O levantamento sísmico começa com a geração, por meio de fontes artificiais, de ondas elásticas que se propagam através dos maciços rochosos, até serem refletidas em certas discontinuidades geológicas denominadas espelhos. Como ecos, essas ondas retornam à superfície e são capturadas por instrumentos especializados (geofones, em terra e

hidrofonos, no mar). Depois de coletados, os dados são tratados e modelados em computadores potentes, de modo a produzir imagens de alta resolução das camadas e estruturas geológicas subterrâneas, que são, posteriormente, interpretadas por especialistas (Hafner; Luciani, 2022).

Para verificar se realmente há óleo e/ou gás nas áreas indicadas pelos estudos de prospecção, ocorre a perfuração de um poço exploratório do tipo pioneiro. Uma vez constatada a existência de hidrocarbonetos, a avaliação comercial da descoberta é realizada, a fim de definir se os volumes recuperáveis justificam os custos de produção. Se o resultado dessa avaliação for positivo, inicia-se a fase de desenvolvimento, na qual se planeja a abordagem e os recursos mais adequados para produzir com máxima rentabilidade os fluidos de uma reserva (Palma, 2011; BNDES, 2009). A etapa de produção corresponde a extração de óleo e/ou gás propriamente dita e envolve, nessa ordem, a perfuração e completação de poços, assim como a elevação dos fluidos do reservatório até a superfície.

O objetivo da perfuração é atingir o alvo (reservatório) perfurando as camadas geológicas ao longo de vários metros. É um processo técnico e exigente que requer uma combinação de tecnologia avançada, conhecimento geológico e práticas de engenharia especializadas. Na perfuração rotativa, método mundialmente consolidado, uma broca é utilizada para fazer o furo inicial no solo. Durante esse processo, um fluido de perfuração é injetado para facilitar a remoção dos detritos de rochas e manter a estabilidade das paredes da formação. Após atingir uma certa profundidade, um revestimento de aço é inserido no buraco, para proteção e estabilização, e depois cimentado. A perfuração continua dessa forma, repetindo o mesmo procedimento em várias fases, até atingir a profundidade desejada e o poço ser assim terminado (Pomini, 2013; Thomas, 2004).

O tempo para perfurar um poço de petróleo ou gás pode variar significativamente, dependendo de vários fatores, tais como profundidade, uso de técnicas e equipamentos modernos, condições geológicas, regulamentações e logística. Em média, a perfuração de um poço pode levar de semanas a meses para ser concluída. Os poços mais simples podem ser perfurados em algumas semanas, enquanto os mais complexos, como aqueles em águas profundas ou com requerem técnicas específicas, podem levar meses ou até anos para serem totalmente concluídos. Em termos de despesas, um poço custará valores entre alguns milhões e algumas dezenas de milhões de dólares. Um poço offshore custa, em geral, entre 3 e 5 vezes mais do que um poço onshore (Hafner; Luciani, 2022).

Sucedendo a perfuração, ocorre a completação dos poços perfurados, cujo objetivo é equipar os poços para produzir óleo e/ou gás, ou injetar fluidos no reservatório. Durante esse processo ocorre a instalação da coluna de produção, da árvore de natal e do BOP (do inglês *blowout preventer*). Esses equipamentos são essenciais para a operacionalização da produção. É através da coluna de produção, que os fluidos do reservatório são deslocados, sob vazão controlada, até a superfície. O controle do fluxo dos fluidos que sobem ao longo do poço é realizado pelo conjunto de válvulas denominado árvore de natal. Já o BOP é o conjunto de válvulas de segurança responsável por prevenir explosões. Por meio desse equipamento o poço é fechado em situações de emergência (Thomas, 2004).

Nas plataformas de produção (Figura 6), os poços completados produzirão inicialmente de forma espontânea por elevação natural e depois por auxílio de algum método de elevação artificial – os mais usados são o bombeio mecânico (BM), o bombeio centrífugo submerso (BCS), o bombeio por cavidades progressivas (BCP) e o gas lift (Corrêa, 2003). Tem relevância observar que as forças capilares, que são as forças de tensão superficial presentes nos poros e nas rochas do reservatório, tornam impossível recuperar completamente todos os hidrocarbonetos. Essas forças retêm uma quantidade significativa de óleo ou gás nos poros mais finos e dificultam sua extração durante a produção. Portanto, mesmo com avançadas técnicas de produção, uma parcela dos hidrocarbonetos geralmente permanece no reservatório. Hafner e Luciani (2022) indicam que, em média, cerca de 80% do gás e 30 a 40% do óleo originais podem ser recuperados.

Figura 6 - Plataforma de produção de gás natural: Troll Alpha da empresa Statoil.



Fonte: Ramos (2015).

Os fluidos obtidos em uma plataforma de produção passam ainda por um processamento primário para que as fases produzidas sejam separadas (óleo, gás e água). Depois de separado o gás natural bruto pode, ainda nas instalações do processamento primário, passar por um tratamento, denominado condicionamento, para remover suas impurezas e componentes indesejados antes de ser enviado à uma UPGN ou, eventualmente, ser consumido internamente ou distribuído para uso. O condicionamento contribui para qualidade e especificação do gás com fins de comercialização, para segurança e capacidade operacional dos gasodutos e para reduzir a corrosão em equipamentos e tubulações, contemplando basicamente o seguinte (Brasil; Araújo; Sousa, 2011; Thomas, 2004):

- remoção de gases ácidos – o gás natural contém teores variados de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Esses compostos têm caráter ácido e tornam-se corrosivos na presença de água (também presente no gás), por isso são removidos por meio de, geralmente, processos de absorção ou adsorção. O  $\text{CO}_2$ , em particular, diminui também o poder calorífico do gás;
- desidratação: a presença de água no gás natural pode causar corrosão e congelamento em sistemas de transporte e distribuição. Os métodos para remover a umidade do gás incluem o uso de agentes dessecantes ou unidades de absorção.

### 2.3.2 Beneficiamento

O beneficiamento do gás natural bruto (úmido) é realizado nas UPGNs, onde promove-se a separação das frações leves, das frações mais pesadas do gás (que têm maior valor agregado). Essas frações mais pesadas, constituídas por hidrocarbonetos contendo dois ou mais átomos de carbono, são comumente chamadas de líquidos de gás natural (LGN) – o etano é sempre um gás, mas é incluído tradicionalmente nos LGNs (CNI, 2019).

Para atender ao mercado, diferentes correntes de gás são obtidas nas UPGNs, incluindo (PETROBRAS, 2023b; Brasil; Araújo; Sousa, 2011; Thomas 2004):

- (i) gás natural seco especificado para diversos usos – é constituído por metano (predominantemente) e etano e pode ser utilizado para geração de energia elétrica, aquecimento industrial, comercial e residencial, assim como matéria-prima para produção de fertilizantes, plásticos,

produtos químicos e outros materiais. Tem também ampla aplicação como combustível automotivo, recebendo, nesse caso, a denominação de gás natural veicular (CNV);

- (ii) gás liquefeito do petróleo (GLP) – é constituído por propano e butano e, embora seja gás em condições ambiente, é liquefeito por compressão ou resfriamento para propósitos de transporte, armazenamento e comercialização. Tem grande aplicação residencial e comercial na cocção de alimentos, mas também é muito utilizado como combustível para geração de calor para caldeiras e fornos industriais, especialmente quando se necessita de queima isenta de resíduos, como no caso das siderúrgicas e fábricas de alimentos, vidros e cerâmicas. Encontra ainda grande aplicação na agricultura e avicultura, bem como é usado para propulsão de empilhadeiras;
- (iii) gasolina natural (C5+) – fração composta por pentano e outros hidrocarbonetos mais pesados e que é mais valiosa por ter maior poder calorífico. Pode ser misturada a gasolina convencional para especificação, reprocessada ou adicionada à corrente de petróleo. Pode ser utilizada também como matéria-prima para diversos produtos petroquímicos.

Caso se tenha tecnologia adequada, uma fração etano também pode ser obtida em corrente separada nas UPGNs. De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2019), o etano pode ser utilizado como “combustível dedicado em equipamento adaptado para esta finalidade” e é matéria-prima para diversos petroquímicos, especialmente para produção de eteno, que é o mais importante building block da indústria química mundial.

O processamento do gás natural para a obtenção das correntes comerciais nas UPGNs se baseia na utilização de processos termodinâmicos, promovidos por uma diminuição de temperatura e/ou aumento de pressão, que resultam na condensação dos compostos mais pesados do gás. Segundo Thomas (2004), os tipos de processos utilizados no processamento de gás natural dependerão de fatores técnicos e econômicos, como composição do gás bruto e pressão disponível, bem como do mercado a ser atendido (correntes desejadas e especificações requeridas).

Os seguintes processos podem ser adotados no processamento do gás natural (Quaranta, 2021; Vaz; Maia; Santos, 2008):

- expansão Joule-Thomson – se fundamenta no resfriamento do gás por meio de sua expansão isentálpica em uma válvula. O processo inclui a compressão inicial do gás (opcional), sua refrigeração em trocadores de calor e variação da pressão do sistema pela válvula isentálpica, com uma conseqüente redução da temperatura do gás, o que leva a liquefação dos seus componentes mais pesados. É o processo de menor custo, de maior simplicidade e mais limitado, sendo usado apenas quando a composição do gás bruto requer apenas um ajuste no teor de componentes mais pesados;
- refrigeração simples – se baseia na refrigeração do gás pela troca térmica com um fluido refrigerante (geralmente propano) em um circuito fechado. O abaixamento da temperatura leva a condensação dos hidrocarbonetos mais pesados do gás. É um processo que também tem limitações, sendo utilizado somente em casos em que não há elevadas exigências quanto à recuperação dos componentes mais pesados do gás;
- absorção refrigerada – envolve, primeiramente, a refrigeração da corrente de entrada do gás natural bruto que chega à unidade e, posteriormente, a absorção em contracorrente dos componentes mais pesados do gás por um óleo de absorção (normalmente uma nafta leve ou aguarrás). Pressões elevadas favorecem a absorção. É um processo mais complexo e de maior custo comparado aos outros processos já mencionados;
- turboexpansão – a expansão do gás em uma turbina promove a redução de sua temperatura e leva a condensação dos hidrocarbonetos mais pesados que se deseja recuperar. Esse processo pode ser realizado com o auxílio de um fluido refrigerante, é mais eficiente que os demais e se aplica quando se deseja obter etano para ser usado como matéria-prima petroquímica e elevado teor de propano no GLP.

O beneficiamento do gás natural bruto nas UPGNs pode resultar em recuperações da ordem de 80% de etano, 90%-95% de propano e 100% de butanos e componentes mais pesados, considerando percentagens molares. Tais valores vão depender da riqueza do gás bruto (teor de hidrocarbonetos pesados), bem como do processo adotado (Brasil; Araújo; Sousa, 2011).

### 2.3.3 Transporte

O gás natural pode ser transportado na forma gasosa ou liquefeita. Na forma gasosa, o transporte é feito como gás natural comprimido (GNC), acondicionado em cilindros de alta pressão (que chegam aos clientes por meio de trens, barcaças ou caminhões), ou por meio de gasodutos. Na forma liquefeita, o gás é denominado de gás natural liquefeito (GNL) e pode ser transportado por meio de navios, trens ou caminhões criogênicos, já que a liquefação exige que o gás seja mantido a uma temperatura de  $-160^{\circ}\text{C}$  (Teixeira, 2013; Burani et al., 2003).

#### 2.3.3.1 Gás Natural Comprimido (GNC)

De acordo com Bendezú (2009), para ficar na forma comprimida o gás é submetido, em temperatura ambiente, à uma pressão da ordem de 220 bar, o que resulta em uma redução de seu volume de cerca de 268 vezes – quanto maior a compressão, menor será o volume ocupado pelo gás. O autor destaca que no transporte por GNC são efetuadas as seguintes ações:

- (i) o gás é inicialmente recolhido em um ponto de coleta no gasoduto e passa, em seguida, por compressores que o comprimem a até 250 bar. Depois de comprimido, o gás é acondicionado em módulos de transporte, geralmente cilindros ou tanques, que são montados sobre plataformas especialmente projetadas para tal;
- (ii) para a logística de transporte, os módulos vazios são removidos das plataformas e substituídos por módulos cheios. Essa substituição é feita por máquinas ou equipamentos especializados, a fim de reduzir o tempo necessário para realização das operações;
- (iii) uma vez carregados, os módulos são transportados por veículos, como caminhões, a velocidades normais ao transporte de cargas. Ao chegar ao ponto de consumo ou distribuição, os módulos são descarregados em plataformas apropriadas. Após passar por uma estação redutora para reduzir a pressão, o gás está pronto para ser integrado à rede de abastecimento doméstico ou industrial para uso do consumidor.

Segundo Nikolaou (2010), os cilindros e tanques de GNV são projetados para manter o gás pressurizado durante o transporte, podendo também servir como instalações de armazenamento temporário durante o período de fornecimento do gás

para consumo. Melo (2007) acrescenta que os módulos utilizados no transporte de GNC são, normalmente, feitos de aço carbono ou de alguma outra liga metálica resistente, mas mais leve que o aço carbono. Alumínio e combinações de metal e plástico também podem ser utilizados.

Melo (2007) ressalta ainda que o transporte do gás na forma comprimida requer que o mesmo esteja previamente tratado, uma vez que a presença de vapor d'água e de hidrocarbonetos mais pesados, mesmo que em baixos percentuais, pode provocar a geração de líquidos. Limitação de fluxo ou bloqueio de tubulações (como consequência da formação de hidratos), redução da qualidade de combustão e da capacidade útil dos cilindros de transporte são alguns dos problemas acarretados pela presença de líquidos no GNC.

### 2.3.3.2 *Gasodutos*

O modal mais utilizado mundialmente para o transporte de gás natural na forma gasosa é o dutoviário (nesse caso, gasodutos) (Tractebel Engineering S.A., 2015). Construídos com materiais que oferecem alta resistência e durabilidade, como aço-carbono de alta qualidade, aço-liga, aço inoxidável e, em alguns casos, plásticos de alta resistência, como polietileno de alta densidade (PEAD), os gasodutos são tubulações de transporte de gás, onshore e offshore, cuja capacidade operacional depende principalmente de fatores como diâmetro, comprimento, rugosidade interna, pressão e temperatura de operação, composição do gás, altitude e terreno onde estão instalados (Kaiser; Mcallister, 2022).

Na logística operacional, os gasodutos são particularmente preferidos para o transporte a longas distâncias, podendo deslocar gás natural ao longo de vários milhares de quilômetros desde a cabeça do poço até os consumidores finais. Quanto maior a diferença de pressão entre seus extremos, maior sua capacidade de transporte. Visando a manutenção preventiva e o isolamento de trechos em situação de ruptura, válvulas de bloqueio automático são instaladas ao longo dos gasodutos. Além disso, vários parâmetros são monitorados continuamente, tais como poder calorífico do gás transportado e pressões, temperaturas e vazões de trabalho (López e Calvo, 2014).

Nesse sentido, somada a rede de tubulação em si, os sistemas de transporte por gasodutos também incluem: (i) uma estação de compressão, que é responsável pela manutenção da pressão nos patamares requeridos, bem como por ajudar a compensar as perdas de carga causadas pelo atrito e pelo próprio consumo; (ii) estação de redução de

pressão e de medição, que são instaladas nos pontos de entrega para ajustar a pressão para uso do cliente (abrange válvulas de redução de pressão e de bloqueio automático, bem como de alívio de pressão); (iii) centro de controle, que tem como função supervisionar e controlar os parâmetros operacionais que viabilizam o transporte de gás natural através dos gasodutos (pode contar com acionamento de comandos apenas no local, ou ter sistema inteligente que permite o acionamento remoto) (Burani, 2003).

Hafner e Luciani (2022) destacam que quatro tipos principais de gasodutos podem ser distinguidos ao longo da rota de transporte:

- tubulações de coleta (ou upstream) – normalmente gasodutos de baixa pressão e pequeno diâmetro (4 - 12 polegadas), que levam gás natural bruto da cabeça do poço para as plantas de processamento;
- dutos de transmissão – gasodutos de grande diâmetro (16–56 polegadas), que operam sob alta pressão (15 - 120 bar) e transportam gás natural seco e limpo, através de longas distâncias (pode ser da planta de processamento diretamente para grandes consumidores finais, como usinas de energia ou instalações industriais);
- dutos de distribuição – dutos de pequeno a médio porte (2 - 28 polegadas), que, sob uma pressão relativamente baixa (até 14 bar), transportam gás natural odorizado, desde um city gate (ponto de transição entre a rede de transporte de gás de alta pressão e a rede de distribuição de gás de baixa pressão, que fornece gás para consumidores industriais, comerciais e residenciais em áreas urbanas) até sua ligação com linhas de serviço;
- linhas de serviço – tubulações de pequeno diâmetro (abaixo de 2 polegadas), que operam sob pressão muito baixa (cerca de 0,5 bar) e fornecem gás natural diretamente aos usuários finais (como entidades comerciais e consumidores residenciais).

A Agência Internacional de Energia (2022) aponta que a África, em particular, possui alguns gasodutos transnacionais em funcionamento, como o gasoduto da África Ocidental da Nigéria para o Níger, Togo, Benim e Gana e a Companhia Moçambicana de Gasoduto, que liga os campos terrestres de gás do país às operações da Sasol na África do Sul. No entanto, o continente ainda requer melhorias substanciais na infraestrutura de fornecimento de gás, uma vez que a maior parte da rede está localizada em áreas costeiras, apenas com instalações mínimas para responder à procura interna.

Há vários projetos de gasodutos nacionais ou transfronteiriços, tais como o gasoduto de gás natural Tanzânia-Uganda, o gasoduto Trans-Nigéria e o gasoduto Trans-Sahara, que liga Nigéria e Argélia, mas todos com financiamento incerto. O conflito Ucrânia-Rússia tem colaborado para renovar o interesse em concretizar alguns desses projetos, assim como terminais de gás natural liquefeito (GNL), para permitir que o gás da África chegue aos mercados internacionais.

### 2.3.3.3 Gás Natural Liquefeito (GNL)

O resfriamento do gás a  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  resulta em gás natural liquefeito (GNL) e reduz efetivamente seu volume em aproximadamente 600 vezes. O GNL comercializado internacionalmente é transportado por grandes navios metaneiros, porém, volumes menores, voltados para o atendimento de mercado local, podem ser transportados por caminhões ou trens (EPE, 2020a; EPE, 2020b).

Os navios especificamente concebidos para transportar e descarregar GNL têm capacidade de carga entre  $25.000\text{ m}^3$  e  $270.000\text{ m}^3$  e se diferenciam pelo tipo de tanque que incorporam (de membrana ou esférico). Gás evaporado dos tanques ou óleo combustível promovem a propulsão desses navios e o descarregamento do GNL nos portos de destino é realizado por meio dos braços de descarga, com os quais o GNL é bombeado diretamente para plantas de regaseificação em terra (López; Calvo, 2014).

De acordo Hafner e Luciani (2022), três componentes principais formam a cadeia de valor de larga escala do GNL:

- (i) terminal de liquefação – inclui unidades de pré-tratamento e liquefação, tanques de armazenamento e um píer de carregamento de GNL para carregar o navio de GNL via tubulações criogênicas;
- (ii) transporte via grandes navios de GNL – pode ser de responsabilidade do comprador (modalidade *free-on-board*) ou do vendedor (modalidade *delivery ex-ship*);
- (iii) incluindo braços de descarregamento de GNL, tanques de armazenamento, vaporizadores, estações de odorização e medição, e envio para o sistema de transmissão.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020a), a atividade de transporte de GNL em pequena escala inclui as seguintes três etapas:

- (i) liquefação do gás e carregamento de caminhões, equipados com tanques criogênicos de GNL, no local da fonte de suprimento de gás;

- (ii) movimentação até o destino utilizando um ou mais caminhões para obter o fluxo desejado;
- (iii) descarregamento do caminhão, regaseificação e medição do gás no local de entrega.

Os caminhões que transportam gás natural liquefeito (GNL) são projetados com características específicas para garantir a segurança durante o transporte desse combustível. São construídos com tanques altamente isolados termicamente, geralmente feitos de aço inoxidável ou outro material resistente à baixa temperatura. As carretas que transportam e descarregam GNL têm, normalmente, uma capacidade de carga de cerca de 40 m<sup>3</sup> de GNL (16 toneladas), o que corresponde à cerca de 24.000 m<sup>3</sup> de gás natural (Bendezú, 2009).

O transporte de GNL em pequena escala também pode ser realizado por meio de trens dotados de tanques criogênicos. Além disso, os trens são equipados com sistemas de segurança avançados para monitorar e controlar a temperatura e a pressão dos tanques durante o transporte. Ambos, caminhões e trens, passam por rigorosas inspeções de segurança e são operados por pessoal treinado para lidar com os desafios específicos do transporte de GNL, garantindo que o combustível seja transportado de forma segura e eficiente (EPE, 2022).

O GNL tem uma densidade energética maior que o CNC, o que o faz uma alternativa mais interessante para o transporte de grandes volumes de gás natural e/ou longas distâncias do ponto de entrega. O GNC tem uma densidade de energia menor que o GNL, porém seu menor custo de capital o torna uma opção atraente, especialmente quando se trata do transporte de pequenos volumes de gás. Para grandes volumes de gás e/ou longas distâncias até o mercado consumidor, os muitos caminhões requeridos para o transporte podem tornar o GNC economicamente e/ou operacionalmente pouco viável (World Bank, 2018).

#### 2.3.4 Armazenamento

O armazenamento de gás natural é um componente crítico do sistema energético, proporcionando estabilidade de suprimento (permite suprir picos de demanda), segurança energética (reservas estratégicas para situações de emergência) e estabilização de preços (armazenar durante períodos de baixa demanda pode equilibrar os preços durante escassez). Infraestruturas subterrâneas ou acima do solo podem ser utilizadas para o armazenamento. Conforme já mencionado, acima do solo o gás pode

ser armazenado em tanques criogênicos no caso do GNL e em reservatórios pressurizados no caso do CNC.

Segundo López e Calvo (2014), o tipo de armazenamento de gás a longo prazo mais usado e viável, considerando critérios econômicos e técnicos, é o armazenamento subterrâneo, realizado em formações geológicas adequadas. Para isso podem ser utilizados reservatórios situados em campos de gás ou petróleo já depletados, aquíferos ou cavernas salinas, cujas propriedades de porosidade e permeabilidade permitam o acúmulo de fluidos no seu interior.

O Centro Brasileiro de Infraestrutura – CBIE (2019) também embasa essa informação e afirma que “instalações de armazenagem de gás natural subterrâneas em campos depletados são uma parte integral da infraestrutura da indústria contemporânea de gás, sendo usadas para balancear a sazonalidade da demanda e dar segurança ao suprimento em caso de choques na oferta”. No caso de centros de consumo de curta distância, e com demandas de curto prazo, podem ser utilizados tanques convencionais de armazenagem. Esses tanques são tipicamente de capacidade menor que as estruturas subterrâneas e requerem manutenção cuidadosa para manter as altas exigências de pressurização.

As infraestruturas de armazenamento se distinguem entre si pela capacidade total de armazenamento e pelo volume do chamado “gás de almofada ou gás de base” (gás inerte utilizado para manter a pressão nos reservatórios – geralmente usa-se nitrogênio ou dióxido de carbono). Esse gás é colocado no reservatório, acima do gás natural armazenado, para preservar a pressão dentro do reservatório, mesmo quando o gás natural é retirado. Mantendo a pressão estável, evita-se que os reservatórios entrem em colapso devido à diminuição da pressão atmosférica interna durante a extração do gás natural. Além disso, ajuda a empurrar o gás natural para fora do reservatório durante a retirada, garantindo que ele seja extraído de maneira mais eficiente (EPE, 2018b).

Os aquíferos são formações subterrâneas porosas que agem naturalmente como reservatórios de água e que podem ser utilizados para armazenar grandes volumes de gás. Sua utilização é mais onerosa que reservas de gás esgotadas, já que toda a infraestrutura envolvida deve partir do zero, desde a instalação de poços e dutos. As cavernas de sal também podem ser usadas para o armazenamento de gás natural. No entanto, sua capacidade é menor que as reservas de gás esgotadas e de aquíferos. Por outro lado, as cavernas de sal têm grande capacidade de armazenar e remover rapidamente o gás natural, o que implica em mais ciclos de retirada e injeção por ano, em comparação com reservatórios depletados e aquíferos (Informe Dinheiro, 2023).

### 2.3.5 Distribuição

Sobre os sistemas de distribuição de gás, López e Calvo (2014) destacam os seguintes aspectos:

- (i) nas proximidades dos centros consumidores, os gasodutos de transporte de gás possuem ramais para as redes de distribuição, ou conjunto de tubulações de menor diâmetro e pressão de projeto, que conduzem o gás natural até os consumidores finais. As Estações de Regulação e Medição (ERMs), localizadas nos nós que interligam a rede de transporte e as redes de distribuição, adaptam a pressão do fluxo de gás nos gasodutos de transporte à pressão exigida na rede de distribuição. Nesses pontos de ligação, entre a rede de transporte e a rede de distribuição, são adicionadas substâncias odoríferas ao gás natural para facilitar a sua detecção em caso de fuga, como o metil mercaptano;
- (ii) as redes de distribuição são projetadas em forma de ramal (cada usuário possui uma única linha ou ramal de abastecimento) ou em malha (a rede que abastece o usuário está interligada em vários pontos com o restante da rede de distribuição). O desenho da malha é mais caro, embora ofereça maior confiabilidade e garantia de abastecimento em caso de quebras;
- (iii) A pressão a que o gás natural é entregue depende do tipo de cliente, variando desde pressões inferiores a 0,05 bar para os consumidores mais pequenos (domésticos) até pressões superiores a 40 bar nas entregas a ciclos combinados e grandes consumidores industriais, que são frequentemente alimentados diretamente do sistema de transporte.

## 2.4 Fatos Históricos do Gás Natural no Mundo

A história do gás natural é extensa e marcada por diversos eventos significativos ao longo dos séculos. Alguns marcos importantes podem ser destacados a seguir (Batista, 2023; Machado, 2014; Natural Gas, 2013; Ferreira, 2006; Santos et al., 2002).

- O gás natural era conhecido por civilizações antigas, usado em fontes naturais como o "fogo eterno" na Grécia antiga e nos banhos romanos. Essas fontes de gás natural eram fontes de ignição espontânea devido à presença do gás metano.
- No século XVIII, o gás natural foi utilizado de maneira mais sistemática para iluminação em cidades como Londres. Isso começou com o uso de gás produzido a partir da queima de carvão (gás de carvão) e mais tarde, no século XIX, com a descoberta de depósitos de gás natural na América do Norte, iniciou-se a transição para o uso de gás natural extraído diretamente do solo.
- O século XIX teve-se a expansão do uso do gás natural, que passou a ser utilizado cada vez mais para iluminação pública e privada, substituindo o gás de carvão em muitas cidades. O crescimento na exploração e uso do gás natural levou ao desenvolvimento de infraestruturas, como gasodutos e estações de tratamento para purificação e distribuição do gás para áreas urbanas e industriais.
- Durante o século XX, houve um rápido crescimento no uso de gás natural, impulsionado por avanços tecnológicos na perfuração, extração, transporte e uso do gás. Os métodos de perfuração avançaram e o gás natural começou a ser utilizado não apenas para iluminação, mas também como uma fonte importante de energia para residências, indústrias e geração de eletricidade. A exploração passou a ser global, com descoberta de grandes reservas de gás natural em várias partes do mundo, como no Oriente Médio, Rússia, América Latina e África, impulsionou a exploração global e o comércio internacional de gás natural.
- Nos últimos anos, houve um foco crescente em tecnologias mais avançadas para a extração de gás, como a perfuração horizontal e fraturamento hidráulico. Além disso, a sustentabilidade e a transição para fontes de energia mais limpas também têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias para captura e armazenamento de carbono, além do uso do gás natural como combustível de transição em direção a fontes de energia mais renováveis.
- Pandemia e guerra: o mercado também passou pelos desafios trazidos pela pandemia da covid-19 que se iniciou em 2020 e impactou diretamente a economia e o consumo global de energia, bem como vem enfrentando as consequências da guerra Ucrânia – Rússia (2023), que impactou diretamente o setor de gás, especialmente o Europeu.

## 2.5 Fatos Históricos do Gás Natural na África

A seguir são destacados, em sequência cronológica, alguns fatos marcantes da história do gás natural no continente africano (Global Energy Monitor, 2023; Batista, 2023; Vieira et al., 2016; Macedo, 2008).

- 1964: a descoberta das primeiras reservas de gás natural na Argélia na década de 60 foi um marco significativo no desenvolvimento da indústria de gás natural não apenas para o país, mas também para a região do Norte da África e para o mercado energético global. Essas reservas foram encontradas em campos como o Hassi R'Mel, que se tornou um dos maiores e mais produtivos campos de gás natural do mundo.
- 1970: início da produção de gás natural na Nigéria, que depois se tornou, com a exploração de campos como o de Escravos e de Bonny, um dos maiores produtores de gás do continente africano. Antes muitas vezes considerado um subproduto indesejado da produção de petróleo, o gás natural passou a ser valorizado como uma fonte de energia versátil e valiosa para o país.
- 1979: a Líbia começa a exportar gás natural para a Europa, aproveitando suas vastas reservas no deserto do Saara. Para o mercado europeu, as exportações de gás natural da Líbia ofereceram uma fonte de energia adicional e diversificada, ajudando a garantir a segurança energética e reduzir a dependência de fornecedores tradicionais. Ao longo dos anos, as exportações de gás natural da Líbia para a Europa foram afetadas por várias questões, incluindo instabilidade política e conflitos internos no país, que por vezes interromperam ou reduziram a produção e exportação de energia. Essas questões geopolíticas continuam a influenciar as exportações de gás natural da Líbia e têm impacto no mercado energético global até os dias de hoje.
- 1982: o Egito foi palco da descoberta de grandes reservas offshore de gás natural, um evento que teve um impacto significativo no desenvolvimento econômico do país e na sua posição no mercado energético regional e global. A partir daí, o Egito se consolidou como um importante produtor e exportador de energia na região do Oriente Médio e Norte da África.
- 1999: descoberta de reservas significativas de gás natural em Moçambique, na região de Rovuma, que teve efeito positivo na diversificação da oferta global de

gás natural e ajudou a atender à crescente demanda por energia em mercados emergentes.

- 2000: a Argélia se torna um importante exportador de GNL para a Europa. Ao longo dos anos, a Argélia continuou a expandir e modernizar sua infraestrutura de exportação de gás natural, buscando aumentar sua participação no mercado europeu de energia. A exportação de GNL continua sendo uma parte importante da economia argelina e uma fonte crucial de receita para o país.
- 2013: início da produção de gás natural em larga escala na Tanzânia, após descoberta de reservas offshore na costa do país. A produção comercial de gás natural trouxe consigo oportunidades de investimento e parcerias internacionais, ajudando a modernizar a infraestrutura energética da Tanzânia e a impulsionar o desenvolvimento de habilidades e capacidades locais.
- 2015: descoberta de grandes reservas de gás natural na costa de Gana, impulsionando a exploração offshore no país. A descoberta dessas reservas teve implicações regionais, estimulando a cooperação e o desenvolvimento de infraestrutura energética compartilhada na África Ocidental.
- 2018: Moçambique deu um grande passo em direção ao desenvolvimento de seu setor de energia com investimentos significativos em infraestrutura de gás natural liquefeito (GNL). Esses investimentos foram direcionados para a construção de instalações de liquefação e terminais de exportação, visando a exportação de gás natural para a Ásia e outros mercados globais
- 2020: a África, assim como os demais continentes, enfrentou as consequências da pandemia da covid-19, que resultou em uma queda drástica na demanda mundial por energia, incluindo o gás natural. A queda na demanda por energia teve um impacto negativo nas economias africanas que dependem fortemente da exportação de recursos naturais, como o gás natural, para gerar receita e impulsionar o crescimento econômico. Muitos países africanos viram suas receitas de exportação diminuírem, enfrentando desafios adicionais para financiar programas de desenvolvimento e atender às necessidades básicas de suas populações.
- 2022-2023: o continente africano mantém sua posição como região produtora e exportadora de gás natural e quer fazer investimentos contínuos em exploração e infraestrutura. A procura por parte da União Europeia de fontes diversificadas de

gás fora da Rússia, em função da guerra Ucrânia-Rússia, vem impulsionando os planos de expansão da exploração de gás natural no continente africano.

Em 2023, as perspectivas para o setor de gás natural na África foram melhores do que para o petróleo, devido a uma série de importantes descobertas na década de 2010 e decisões finais de investimento para projetos de GNL entre 2010 e 2020. Nesse período, um percentual de 40 % de todo o gás descoberto no mundo estava na África. As descobertas em Moçambique e na Tanzânia no início de 2010 foram seguidas por uma série de descobertas no Egito em 2015, e no Senegal e na Mauritânia no final de 2010. Recentemente, foram igualmente descobertos grandes recursos de condensados de gás ao largo da costa sul da África do Sul, nos campos de Luiperd e Brulpadda AIE, (2022).

### 3 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho foram pesquisadas informações que fundamentam o funcionamento da indústria do gás natural, caracterizando-a por meio da descrição das principais etapas de sua cadeia produtiva e história mundial. Além disso, foram investigadas também informações que descrevem fatos marcantes do setor de gás na África.

Com foco na exploração e produção foram buscados dados recentes, referentes principalmente ao ano de 2022, de reservas, consumo e produção de gás natural. Os dados coletados foram organizados e compilados, na forma de tabelas e gráficos, representativos da dinâmica das atividades do setor de gás no mundo e na África.

A pesquisa de dados e informações foi balizada na recolha e consulta de material bibliográfico e documental, referente ao setor de petróleo e gás. Assim, fontes diversas, no âmbito nacional e internacional, foram utilizadas: artigos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, livros, relatórios de entidades públicas e privadas, etc. No entanto, as principais fontes documentais de dados foram publicações da ANP, BP e AIE.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Maiores Reservas, Produtores e Consumidores de Gás Natural do Mundo

Segundo a ANP (2020), reserva é “uma auto avaliação de quantidade de petróleo ou gás natural dos depósitos, que é capaz de ser produzido por motivos à presença de tecnologia para extraí-lo e condição financeira para comercializá-lo, de modo a cobrir seus custos de produção”.

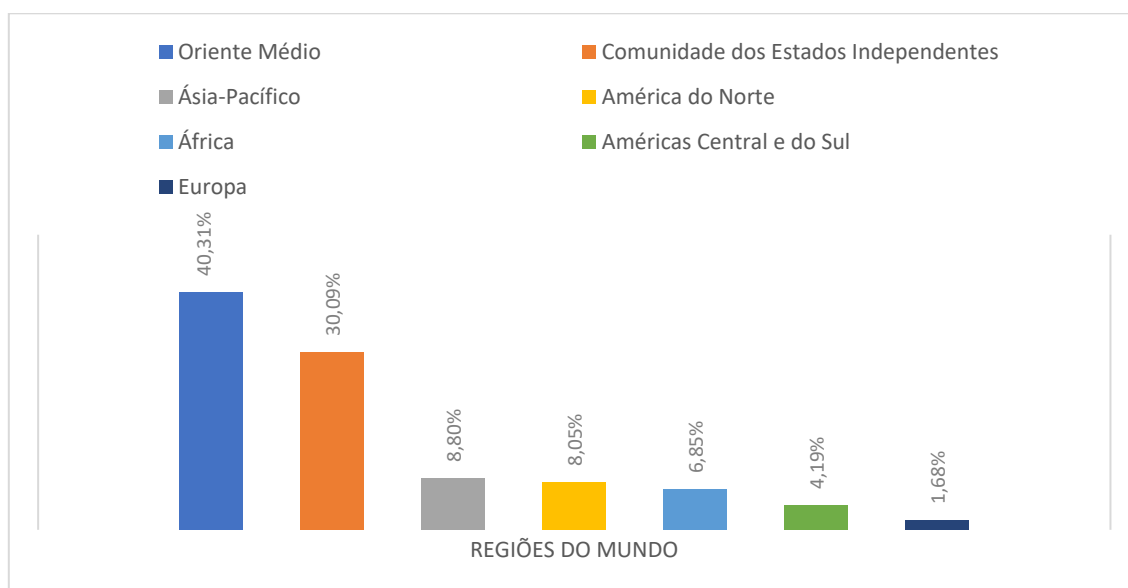
Estimar as reservas provadas passou a ser uma preocupação global crescente desde que se determinou que o petróleo e o gás natural, assim como o carvão mineral, são recursos naturais não-renováveis, e que, portanto, têm a possibilidade de um dia terminar (Santos, 2019; Morse, 2006).

De acordo com Prata (2021), as reservas de petróleo e gás natural existem em todo o mundo, sem, contudo, apresentar uma distribuição regular por região. Dados divulgados pela ANP (2021) e a BP (2021), mostram que as reservas provadas de gás natural no mundo possuíam, ao final de 2020, o equivalente a 188,06 trilhões de metros cúbicos. O Oriente Médio sozinho totalizou 75,81 trilhões, o que corresponde a 40,31% do total das reservas do planeta. Em seguida, tem-se a Comunidade dos Estados Independentes (CEI), que reúne países que faziam parte da antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), como Rússia e Ucrânia, que possuíam o equivalente a com 56,6 trilhões de metros cúbicos (30,09%).

Ainda em 2020, a região Ásia-Pacífico totalizou 16,56 trilhões de metros cúbicos (8,80%) e a América do Norte 15,15 trilhões de metros cúbicos (8,05%). A África apresentou um valor correspondente a 12,89 trilhões de metros cúbicos (6,85%), enquanto que as Américas Central e do Sul tinham juntas 7,89 trilhões de metros cúbicos (4,19%). Por último a Europa com 3,17 trilhões de barris/dia (1,68%). Os países da OPEP totalizaram sozinhos 64,72 trilhões de metros cúbicos o que corresponde 34,41% das reservas mundiais.

Na Figura 7 é mostrada a distribuição das reservas provadas de gás natural no mundo em termos percentuais, considerando o ano de 2020. Dados mais recentes, referentes aos anos de 2022 e 2021, não foram divulgados por órgãos oficiais do setor de energia.

Figura 7 - Distribuição por região do mundo das reservas provadas de gás natural em 2020.



Fonte: elaborada pelo próprio autor, com base em ANP (2021) e BP (2021).

Na Tabela 3 são listados, em ordem decrescente, os dez países com as maiores reservas de gás natural no mundo, no de 2020.

Tabela 3 - As maiores reservas provadas de gás natural do mundo em 2020.

Países	Reservas Provadas (trilhões de m <sup>3</sup> )
Rússia	37,39
Irã	32,1
Catar	24,67
Turcomenistão	13,6
Estados Unidos	12,62
China	8,4
Venezuela	6,26
Arábia Saudita	6,02
Emirados Árabes Unidos	5,94
<b>Nigéria</b>	<b>5,47</b>

Fonte: elaborada pelo autor com base em dados da ANP (2021a) e BP (2021).

Conforme observado na Tabela 3, apenas um país africano está na lista dos dez maiores reservas de gás natural do mundo em 2020, a Nigéria. As reservas da Nigéria equivaleram a 2,9% do total mundial. Situada na costa oeste da África, integralmente ao sul do Saara, a Nigéria faz parte da África Subsaariana. Argélia, Egito, e Líbia não aparecem, mas somados contabilizam cerca de 3,1% mundial e os outros países da África cerca de 0,83% (ANP, 2021a; BP, 2021).

No que se refere a produção, em 2022, a quantidade de gás atingiu 4 trilhões de m<sup>3</sup> no mundo, após uma redução de 9,4 milhões de m<sup>3</sup>, que corresponde a 0,2%, em relação a 2021. Entre os países, os Estados Unidos (EUA) registraram o maior aumento volumétrico na produção anual de gás natural, com crescimento de 34,5 bilhões de m<sup>3</sup>. Os Estados Unidos emergiram como um dos principais produtores de gás natural devido à exploração de gás de xisto. Essa expansão transformou os Estados Unidos em um importante exportador de GNL, alterando os fluxos globais de comércio e aumentando a concorrência nos mercados internacionais, antes dominados por Austrália, Indonésia e Catar.

Outros países que registraram significativos aumentos na produção de gás em 2022 foram Canadá (+12,7 bilhões de m<sup>3</sup>), China (+12,6 bilhões de m<sup>3</sup>) e Noruega (+8,5 bilhões de m<sup>3</sup>). Por outro lado, os países que tiveram os maiores declínios na produção de gás, em 2022, foram Rússia (-83,7 bilhões de m<sup>3</sup>), Tailândia (-5,9 bilhões de m<sup>3</sup>) e Nigéria (-4,8 bilhões de m<sup>3</sup>). A produção da Rússia foi afetada pela guerra com a Ucrânia, enquanto Tailândia e Nigéria sofreram com os desafios de infraestrutura e atração de investimentos.

A produção de gás natural dos países membros da OPEP, atingiu em 2022, 643,2 bilhões de m<sup>3</sup> (15,9% do total mundial), após aumento de 0,7% (o equivalente a 3,6 bilhões de m<sup>3</sup>) em comparação a 2021, enquanto a dos países que não fazem parte da OPEP totalizou 3,4 trilhões de m<sup>3</sup> (84,1% do total mundial), após queda de 0,4% (o equivalente a 13 bilhões de m<sup>3</sup>) em relação ao ano anterior. No ranking global de maiores produtores de gás natural, os Estados Unidos se mantiveram em primeiro lugar, com 978,6 bilhões de m<sup>3</sup> (24,2% do total mundial), após aumento de 3,7% ante 2021. Em seguida, veio a Rússia, com 618,4 bilhões de m<sup>3</sup> (15,3% do total mundial), com queda de 11,2%. A Nigéria não está nesta lista dos dez países maiores produtores de gás natural no mundo no ano 2022. No entanto, dois países da África do Norte, Argélia e Egito, estão nessa lista e suas produções somadas equivalem a 4,02% do total mundial (ANP, 2023).

Vale destacar que consoante os problemas causados pela pandemia da covid-19, que exigiu a implantação de rigorosas medidas de distanciamento social, com grande diminuição da mobilidade da população, a produção mundial de gás natural, em 2020, teve uma queda de 9,53% em relação a 2019. A diminuição na produção foi observada em dez dos treze maiores produtores de gás natural no mundo.

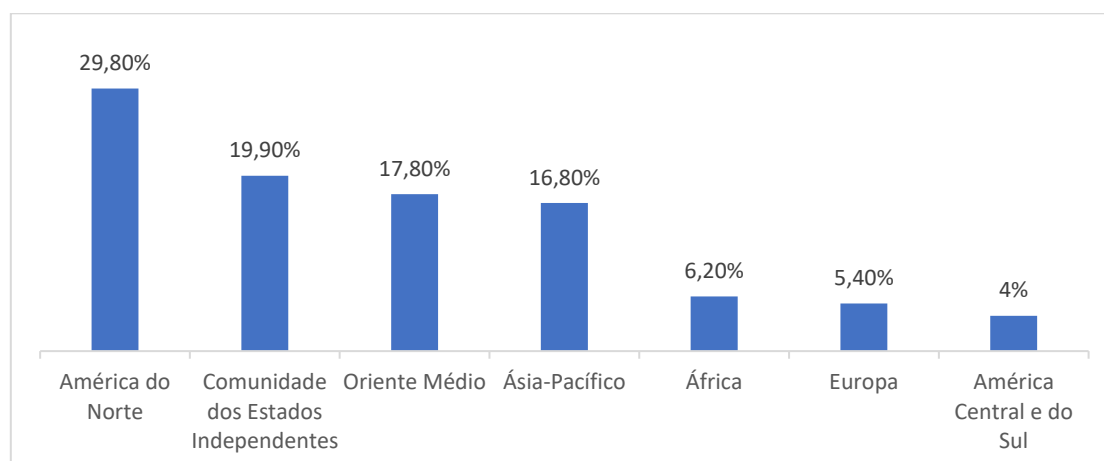
China, Irã e Arábia Saudita foram exceções, registrando em 2020, apesar da pandemia, aumentos de 9,79%, 7,12% e 1,7%. Com a pandemia, as grandes empresas mundiais de petróleo registraram prejuízos de grandes dimensões. De acordo com Prata (2021), a menor demanda fez com que empresas como BP, Saudi Aramco, grupo anglo-holandês Royal Dutch Shell, Chevron e Total anunciassem perdas financeiras da ordem de bilhões de dólares.

Considerando as macrorregiões do mundo, de acordo com a BP (2023), em 2022, a América do Norte se manteve como a maior produtora global de gás natural, com produção de 1,2 trilhão de m<sup>3</sup> (29,8% do total mundial), após crescimento de 4,3%. A descoberta e exploração das vastas reservas de gás natural de xisto nos Estados Unidos e no Canadá impulsionaram significativamente a produção de gás natural no continente americano. A tecnologia de fraturamento hidráulico, também conhecida como fracking, permitiu a extração comercialmente viável de gás natural de xisto, tornando os Estados Unidos líderes mundiais na produção desse recurso.

Na sequência de maiores produtores de gás natural no mundo, em 2022, tem-se a Comunidade dos Estados Independentes, com produção de 806 bilhões de m<sup>3</sup> (19,9% do total mundial), após decréscimo de 9,5%. O Oriente Médio, por sua vez, registrou um crescimento volumétrico de 15,2 bilhões de m<sup>3</sup> (+2,2%), totalizando 721,4 bilhões de m<sup>3</sup> (17,8% do total mundial), mantendo-se como a terceira maior região produtora.

Ainda em 2022, a região Ásia-Pacífico, teve um acréscimo de 1,1% (equivalente a 7,5 bilhões de m<sup>3</sup>), tendo produzido 681 bilhões de m<sup>3</sup> (16,8% do total mundial). Por sua vez, a África registrou queda de 3,9% (o equivalente a 16,8 bilhões de m<sup>3</sup>), somando 249 bilhões de m<sup>3</sup> (6,2% do total mundial). Já a Europa registrou crescimento de 4,4% (o equivalente a 9,3 bilhões de m<sup>3</sup>), somando 220,2 bilhões de m<sup>3</sup> (5,4% do total mundial). Por fim, as Américas Central e do Sul registraram aumento de 2,9% (o equivalente a 4,5 bilhões de m<sup>3</sup>), totalizando 162 bilhões de m<sup>3</sup> (4% do total mundial) (ANP, 2023). Tais dados percentuais encontram-se compilados na Figura 8.

Figura 8 - Participação das diferentes regiões na produção mundial de gás natural em 2022.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2023).

Na Tabela 4 são listados, em ordem decrescente, os treze maiores produtores de gás natural do mundo, no ano de 2022.

Tabela 4 - Treze maiores produtores de gás natural do mundo em 2022 em relação a 2020/2021.

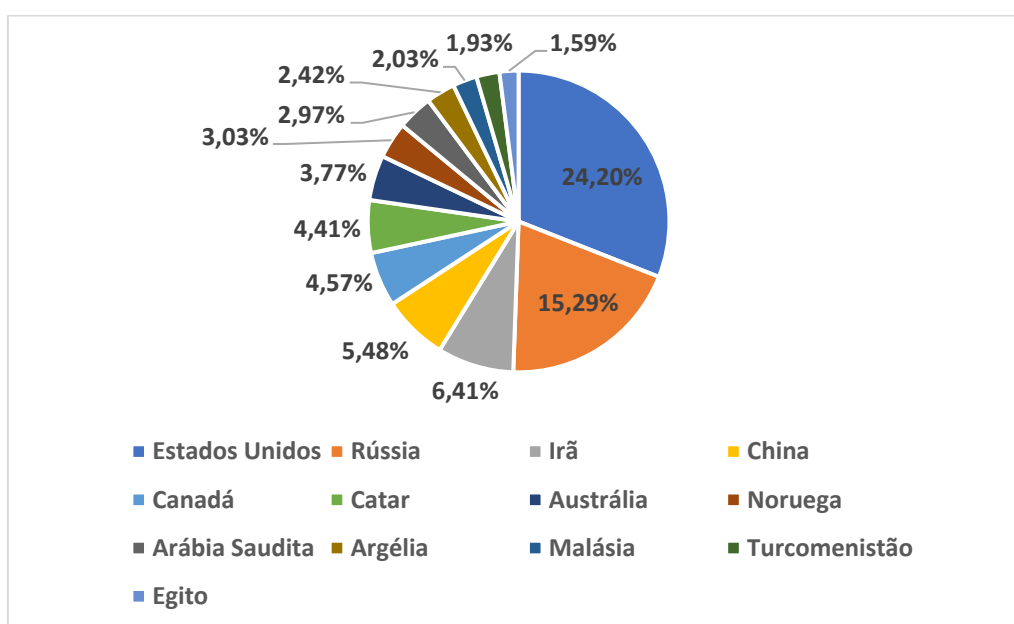
Países	Produção 2020 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Produção 2021 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Produção 2022 (bilhões de m <sup>3</sup> )
Estados Unidos	916,1	944,1	978,6
Rússia	638,4	702,1	618,4
Irã	249,5	256,7	259,4
China	194,0	209,2	221,8
Canadá	165,6	172,3	185,0
Catar	174,9	177,0	178,4
Austrália	145,9	148,2	152,8
Noruega	111,5	1114,3	122,8
Arábia Saudita	113,1	114,5	120,4
<b>Argélia</b>	<b>81,4</b>	<b>101,1</b>	<b>98,2</b>
Malásia	72,2	78,0	82,4
Turcomenistão	66,0	79,3	78,3
<b>Egito</b>	<b>58,5</b>	<b>67,8</b>	<b>64,5</b>

Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2023).

Conforme pode ser observado na Tabela 4, no ranking de países, os EUA foi o maior produtor de gás natural do mundo, em 2022, seguido da Rússia. Nesse período, todos os doze maiores produtores mundiais mantiveram sua colocação no ranking. Países africano como Argélia e Egito ficaram em décimo e décimo terceiro lugares respectivamente. Vale notar que embora os demais países tenham tido uma elevação da produção em relação ao ano de 2021, o aumento correspondente foi pequeno, o que confirmou a previsão da AIE de que no período pós-pandemia os produtores teriam dificuldades para aumentar a oferta, especialmente os países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo e Aliados (OPEP+) (Agência Estado, 2023).

Na Figura 9 é mostrada a participação individual, na produção mundial de gás natural, dos treze maiores produtores de 2022 (os percentuais foram determinados considerando a produção diária total mundial de 2022).

Figura 9 - Participação mundial dos treze maiores produtores de gás em 2022.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2023).

No que diz respeito ao consumo mundial de gás natural, em 2022, atingiu-se 39 bilhões de m<sup>3</sup>, contra os 40 bilhões de m<sup>3</sup>, o que representa uma queda histórica de aproximadamente -3% em relação a 2021, ano pós-pandemia (BP, 2023). Essa redução justifica-se em função da guerra Ucrânia-Rússia e da interrupção de parte do fornecimento de gás russo para a Europa.

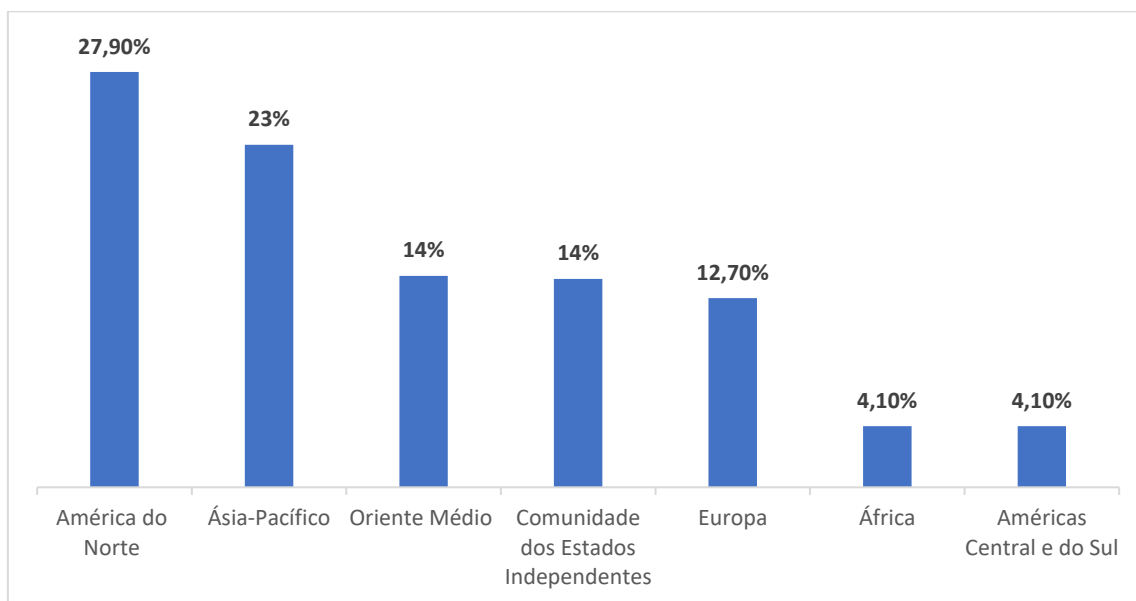
No que se refere as regiões, em 2022, a América do Norte continuou como a maior consumidora mundial de gás, totalizando 1,1 bilhões de m<sup>3</sup> (27,9% do total mundial), após aumento de 4,7%. Em seguida, veio a região Ásia-Pacífico, com 907,1 bilhões de m<sup>3</sup> (23% do total mundial), após queda de 2,3%. O Oriente Médio apresentou queda de -0,3%, totalizando 560,6 bilhões de m<sup>3</sup> (14,2% do total mundial).

A Comunidade dos Estados Independentes também registrou queda no consumo em 2022, que nesse caso foi de -10,7% em relação ao ano anterior. Seu consumo total foi de 551,2 bilhões de m<sup>3</sup> (14% do total mundial). Já a Europa apresentou decréscimo de -13%, totalizando 498,9 bilhões de m<sup>3</sup> (12,7% do total mundial). Em seguida, a África teve queda de -3,5%, alcançando 162,5 bilhões de m<sup>3</sup> (4,1% do total mundial). Por fim, nas Américas Central e do Sul, o decréscimo no consumo foi de -3,6%, atingindo 161,8 bilhões de m<sup>3</sup> (4,1% do total mundial) (ANP, 2023). Na Figura 10 é mostrada, em termos percentuais, a contribuição de cada região no consumo mundial de gás natural em 2022.

A maior queda no consumo de gás em 2022 foi verificada na Europa, região diretamente afetada pelo corte drástico de 80%, no somatório do ano, nas entregas de gás por gasoduto da Rússia. Esse cenário obrigou a uma fração das indústrias europeias de elevada intensidade energética a reduzir suas produções, de modo a resistir a pressão provocada pela indisponibilidade do gás russo (Capital Verde, 2023).

Além disso, levou também a uma busca por substitutos que pudessem suprir ao menos uma parte da demanda energética do continente. Com isso teve-se aumento no uso do carvão e de energias renováveis. As demais regiões do globo foram afetadas por fatores como inflação, altas nos preços do gás e desaceleração da economia chinesa, que consequentemente afetou a demanda industrial. No hemisfério norte, em particular, influenciou também o inverno de temperaturas amenas do referido ano de 2022 (Folha de Pernambuco, 2023).

Figura 10 - Participação das diferentes regiões no consumo mundial de gás natural em 2022.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2023).

Embora a África seja o segundo continente mais numeroso do mundo e rico em recursos naturais, incluindo grandes reservas de óleo e gás, seu baixo consumo de gás natural, comparados com as outras regiões, reflete os problemas socioeconômicos que sua população encara, tal como dificuldade de acesso à energia elétrica.

Muitas áreas da África ainda não estão completamente eletrificadas, e mesmo onde a eletricidade está disponível, há frequentes cortes de energia devido a infraestrutura inadequada e instabilidade política. Isso leva as pessoas a dependerem de fontes de energia mais acessíveis, como carvão e lenha, em vez de gás natural, que pode ser mais limpo e eficiente. Além disso, questões relacionadas à falta de infraestrutura de transporte e distribuição também limitam a utilização do gás natural em muitas partes do continente.

Para promover um maior consumo de gás natural na África, serão necessários investimentos significativos em infraestrutura, políticas energéticas favoráveis e programas para melhorar o acesso à eletricidade e reduzir a pobreza energética. Essas medidas poderiam ajudar a aproveitar o vasto potencial de recursos de gás natural da África e impulsionar o desenvolvimento econômico e social em todo o continente.

A Organização das Nações Unidas (ONU) aponta, por meio do seu Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que dos 33 países que compõem a lista de menores Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do mundo,

referente ao ano de 2019, 28 deles estão localizados no continente africano. Muitos deles estão inseridos na região da África Subsaariana (Freire, 2020).

Depois de uma década (2011 - 2021) de expansão sem precedentes, a AIE prevê que o crescimento da demanda mundial de gás natural arrefeça nos próximos anos, em função de uma baixa do consumo nos mercados maduros, tais como os da Ásia-Pacífico, Europa e América do Norte. Estima-se que a demanda global de gás crescerá em média 1,6% ao ano entre os anos de 2022 e 2026, abaixo da média de 2,5% ao ano verificada no período entre 2017 e 2021 (Petronotícias, 2023).

Na Tabela 5 são listados os catorze maiores consumidores mundiais de gás natural. Em 2022, o consumo mundial de gás natural registrou queda de -3,1%, contabilizando aproximadamente 3,9 bilhões de m<sup>3</sup> (BP, 2023; ANP, 2023). Em 2022, Estados Unidos e Arábia Saudita foram os países com maior incremento volumétrico no consumo de gás natural, respectivamente, 45,4 bilhões de m<sup>3</sup> (alta de 5,4%) e 5,9 bilhões de m<sup>3</sup> (alta de 5,2%). Por conseguinte, Rússia e Alemanha experimentaram as maiores quedas, respectivamente, 66,6 bilhões de m<sup>3</sup> (queda de 14%) e 14,4 bilhões de m<sup>3</sup> (queda de 15,7%).

Nesse mesmo ano, os Estados Unidos permaneceram na primeira posição dos maiores consumidores de gás natural, com 881,2 bilhões de m<sup>3</sup> (22,4% do total mundial), seguidos da Rússia, com 408 bilhões de m<sup>3</sup> (10,4% do total mundial), e da China, com 375,7 bilhões de m<sup>3</sup> (9,5% do total mundial). No continente africano, apenas o Egito aparece nessa lista, ocupando o último lugar com 60,7 bilhões de m<sup>3</sup> (1,5% do total mundial).

Esses números refletem as diferentes demandas de energia em diferentes regiões do mundo, influenciadas por fatores como o tamanho da economia, a infraestrutura energética disponível, as políticas governamentais e as preferências do consumidor. Enquanto os Estados Unidos continuam a liderar o consumo global de gás natural devido à sua economia avançada e ao uso generalizado desse recurso para várias finalidades, países como a China se destacam como importantes consumidores devido ao rápido crescimento econômico e à necessidade de energia para sustentar esse crescimento.

Tabela 5 - Maiores consumidores mundiais de gás natural em 2022 em relação a 2020/2021.

Países	Consumo 2020 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Consumo 2021 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Consumo 2022 (bilhões de m <sup>3</sup> )
Estados Unidos	832,9	835,8	881,2
Rússia	423,5	474,6	408,0
China	336,6	380,3	375,7
Irã	236,8	236,5	228,9
Canadá	113,6	117,0	121,6
Arábia Saudita	113,1	114,5	120,4
Japão	104,1	103,6	100,5
México	94,5	97,3	96,6
Alemanha	87,1	91,7	77,3
Reino Unido	73,1	77,8	72,0
Emirados Árabes Unidos	64,7	70,8	69,8
Itália	67,6	72,4	65,3
Coreia do Sul	57,5	62,4	61,9
<b>Egito</b>	<b>58,3</b>	<b>62,2</b>	<b>60,7</b>

Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da ANP (2023a) e BP (2023).

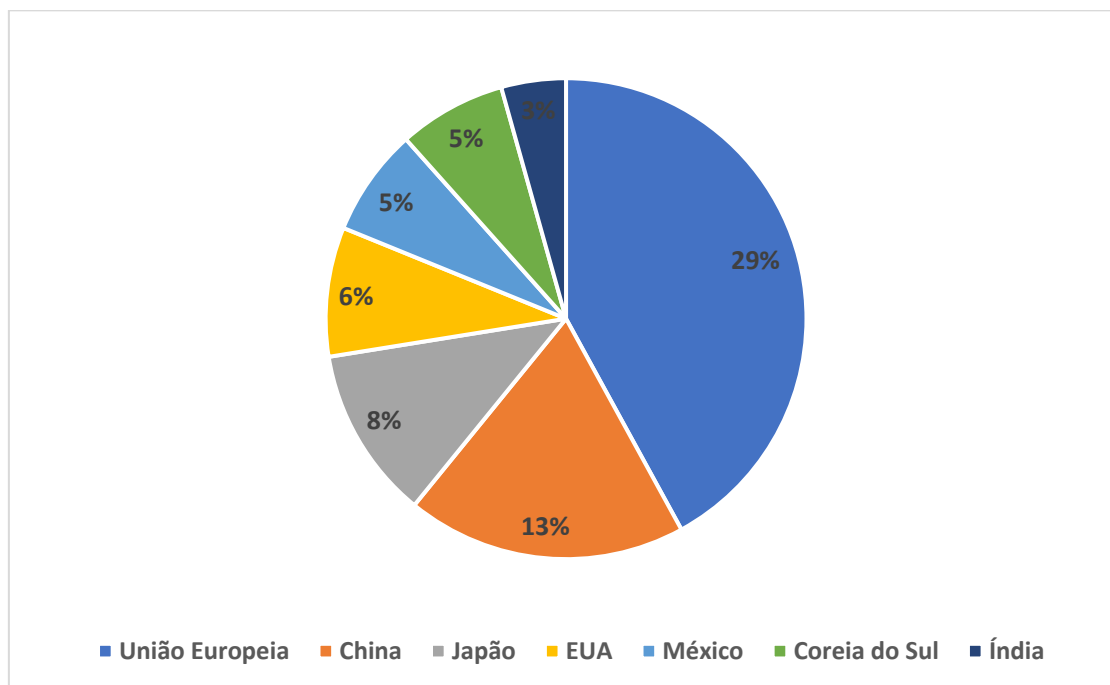
## 4.2 Importações e Exportações Mundiais de Gás Natural

Em 2021, os países ao redor do mundo importaram um total de 1,22 trilhão de m<sup>3</sup> de gás natural, sendo a maior parcela (57,7%) transportada via gasodutos. A União Europeia foi a maior importadora, respondendo por 345 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 29% do total mundial (Figuras 11 e 12). Esse alto volume de importação reflete a dependência da União Europeia em relação ao gás natural como fonte de energia primária, uma vez que é utilizado para uma variedade de finalidades, incluindo geração de eletricidade, aquecimento e produção industrial.

No entanto, a UE também está buscando diversificar suas fontes de energia e reduzir sua dependência de gás natural importado, procurando aumentar a participação de energias renováveis em sua matriz energética e promovendo a eficiência energética

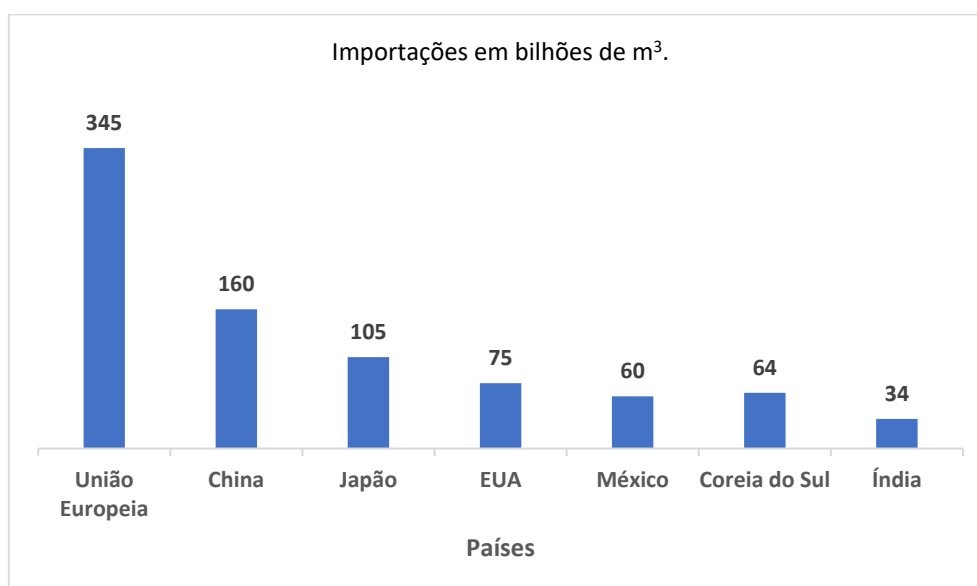
em todos os setores. Essas iniciativas visam fortalecer a segurança energética da União Europeia e reduzir sua vulnerabilidade a interrupções no fornecimento de gás natural de países fornecedores.

Figura 11 - Participação mundial dos sete maiores importadores de gás natural em 2021.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da Elaboração IBP com dados BP (2022).

Figura 12 - Ranking dos sete maiores importadores mundiais de gás natural em 2021.

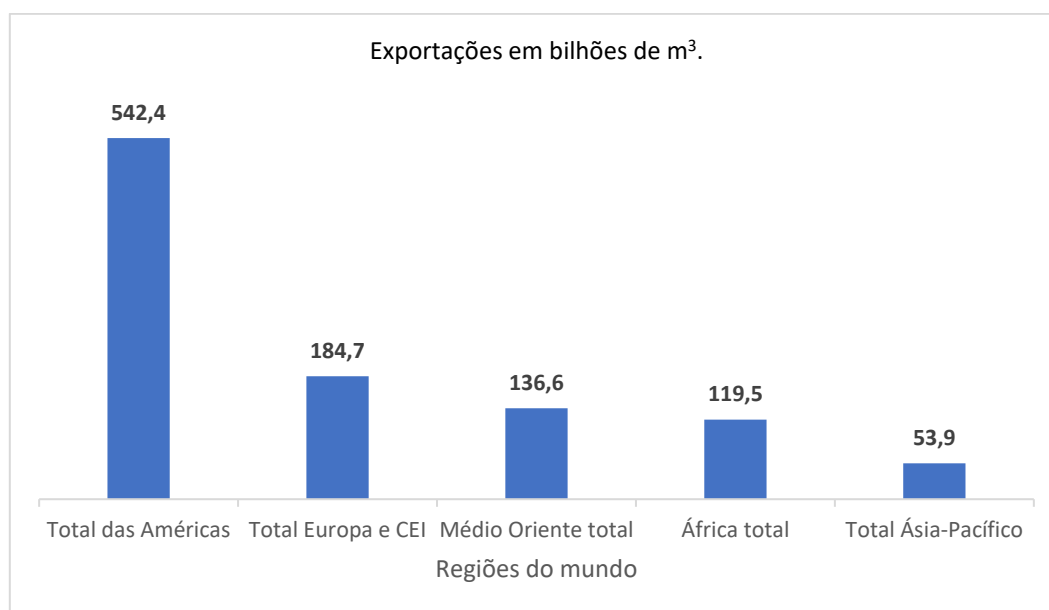


Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da IBP (2021).

No que tange as exportações, um total de 1,22 trilhão de metros cúbicos de gás natural foram movimentados em 2021, seja via gasodutos (57,7%) ou na forma de gás

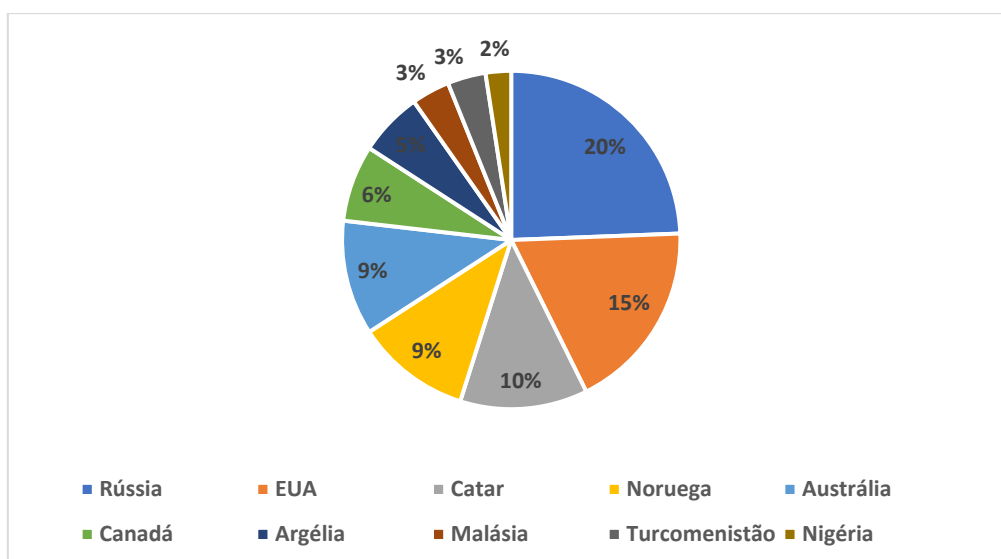
natural liquefeito (GNL) (42,3%). O continente americano respondeu pelo maior volume de exportações (Figura 13). A Rússia liderou as exportações com cerca de 241 bilhões m<sup>3</sup>, representando 20% do total, seguida por EUA (15%), Catar (10%) e Noruega (9%) (Figura 14). Juntos, esses países foram responsáveis por um pouco mais da metade das exportações em 2021 (Figuras 15). Esses números evidenciam a importância desses países como fornecedores globais de gás e destacam a diversidade de origens geográficas das exportações, o que contribui para a estabilidade do mercado global.

Figura 13 - Participação das diferentes regiões exportadoras mundial de gás natural em 2022.



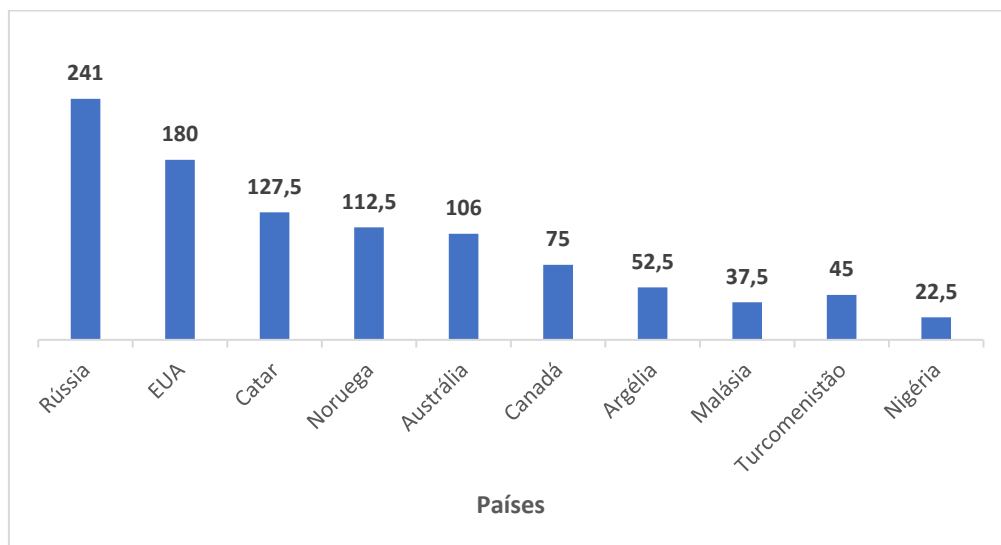
Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da ANP (2022) e BP (2022).

Figura 14 - Participação mundial dos dez maiores exportadores de gás natural em 2021.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2022).

Figura 15 - Os dez maiores exportadores mundiais de gás natural em 2021.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2022).

### 4.3 Maiores Reservas, Produtores e Consumidores de Gás Natural da África

As reservas de gás natural na África atingiram, em 2020, 12,89 bilhões de m<sup>3</sup> o que é equivalente a 6,85% do total mundial e representa uma queda de 2,06 trilhões de m<sup>3</sup> (-13,77%) em relação ao ano de 2019. A Nigéria tem as maiores reservas de gás da África, apresentando, no ano de 2020, 5,47 bilhões de m<sup>3</sup>, mantendo os mesmos valores do ano anterior, o que corresponde a 42,4% das reservas totais da África e 2,9% do total mundial.

Em seguida tem-se a Argélia com 2,28 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 17,68% do total de África e 1,2% do total mundial. O país sofreu uma queda de 2,06 bilhões de m<sup>3</sup>, em relação ao ano de 2019 (-47,46%). Depois vem o Egito com 2,14 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 16,6% do total de África e 1,13% do total mundial, mantendo os mesmos valores em relação ao ano de 2019. Por fim vem a Líbia com 1,43 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 11,09% do total de África e 0,76% do total mundial, mantendo os mesmos valores em relação ao ano de 2019. Os outros países da África totalizaram juntos 1,57 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 12,17% do total da África e 0,8% do total mundial (BP, 2023; ANP, 2023).

Na Tabela 6 são listados, em ordem decrescente, os quatro países com as maiores reservas de gás natural do continente africano, no ano de 2020.

Tabela 6 - As maiores reservas provadas de gás natural do continente africano em 2020.

País	Reservas provadas de gás natural (bilhões de m <sup>3</sup> )
Nigéria	5,47
Argélia	2,28
Egito	2,14
Líbia	1,43

Fonte: elaborada pelo autor com base em dados da ANP (2023a) e BP (2023).

Conforme observado na Tabela 11, os quatro países com maiores reservas de gás natural do continente africano em, 2020, são Nigéria, Argélia, Egito e Líbia, dos quais apenas um pertence a África Subsaariana (Nigéria). Os quatro juntos são responsáveis por 42,4% dos 12,06 bilhões de m<sup>3</sup> totais de toda a África no ano de 2020 (considerando os 54 países africanos). Espera-se que haja um crescimento de gás ao longo dos anos, com as novas descobertas de exploração no continente.

Na última década, vários países africanos se destacaram por novas descobertas de reservas de gás natural. Alguns desses países incluem:

- Moçambique: emergiu como um dos principais destinos para a exploração de gás natural na África. Grandes descobertas foram feitas na Bacia do Rovuma, ao largo da costa norte do país. Essas descobertas, como o campo de gás Coral, posicionaram Moçambique como um importante produtor futuro de gás natural e catalisaram investimentos significativos em infraestrutura de gás natural liquefeito (GNL) para exportação;
- Tanzânia: assim como Moçambique, a Tanzânia também viu grandes descobertas de gás natural na região da Bacia do Rovuma. Essas descobertas, como o campo de gás de Block 1, têm o potencial de transformar a Tanzânia em um exportador de gás natural e impulsionar o desenvolvimento econômico no país.
- Senegal: nos últimos anos, o Senegal se destacou como um novo hotspot de exploração de petróleo e gás na África Ocidental. Grandes descobertas de gás foram feitas na Bacia de Senegal, com empresas petrolíferas internacionais como a BP e a Kosmos Energy liderando os esforços de exploração.

- Mauritânia: ao lado do Senegal, a Mauritânia também testemunhou descobertas significativas de gás natural na Bacia de Senegal. Essas descobertas promissoras aumentaram o interesse e o investimento na exploração de gás natural no país.
- Egito: historicamente um importante produtor de gás natural no continente africano, nos últimos anos, o país continuou a expandir sua exploração e desenvolvimento de gás natural, com descobertas adicionais sendo feitas em campos como o Zohr, no Mediterrâneo.

Na Tabela 7 são listados, em ordem decrescente, os quatro países com as maiores reservas de gás natural do continente africano, no ano de 2022.

Tabela 7 - Os quatro maiores produtores de gás natural da África em 2022 em relação a 2020/2021.

País	Produção 2020 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Produção 2021 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Produção 2022 (bilhões de m <sup>3</sup> )
Argélia	81,4	101,1	98,2
Egito	58,5	67,8	64,5
Nigéria	49,4	45,2	40,4
Líbia	12,4	14,5	14,8

Fonte: elaborada pelo autor com base em dados da ANP (2023a) e BP (2023).

De 1970 a 2022, os quatro países listados na Tabela 7 representaram 87,5% de todo o gás produzido na África. Em 2022, a produção de gás natural no continente africano atingiu 249,0 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 6,15% do total mundial e representa uma queda de 10 bilhões de m<sup>3</sup> (-3,86%) em relação ao ano de 2021. De 2019 para 2020 a produção sofreu uma queda de 11,6 bilhões de m<sup>3</sup> (-4,77%). A Argélia teve a maior produção de gás natural da África no ano de 2022, respondendo por 39% do total atribuído ao continente e 2,4% do total mundial. No entanto, houve uma queda de -2,86% em relação a 2021, enquanto em 2020 o país teve um aumento de +24,2% em relação a 2019. Em seguida vem o Egito, com 25,9% da produção total da África e 1,59% do total mundial, sofrendo uma queda de -4,86% em relação a 2021. No ano de 2020, o país teve um aumento equivalente a +15,89% em relação a 2019.

Em 2022 a Nigéria respondeu por 16,2% da produção total de gás natural da África e 0,99% do total mundial. Ao contrário dos dois primeiros países (Argélia e Egito), a Nigéria viu uma redução consistente na produção de gás natural ao longo dos últimos anos. A produção diminuiu de 49,4 bilhões de metros cúbicos em 2020 para 45,2 bilhões de metros cúbicos em 2021 e depois para 40,4 bilhões de metros cúbicos em 2022. Fatores como instabilidade política, segurança e infraestrutura deficientes afetam o setor de energia no país, podendo resultar em desperdício de recursos, falta de manutenção adequada das instalações e baixa produtividade.

A Nigéria enfrenta desafios significativos em termos de instabilidade política e segurança, incluindo conflitos armados e sabotagem de instalações, particularmente em algumas regiões onde a produção de petróleo e gás é concentrada. Há também desafios críticos em relação à infraestrutura de energia, incluindo gasodutos, instalações de processamento e exportação. A falta de investimentos adequados na modernização e expansão da infraestrutura pode limitar a capacidade de produção e exportação de gás.

E por fim vem a Líbia com 5,9% do total de gás natural produzido na África em 2022 e 0,36% do total mundial. O país mostrou um padrão diferente dos outros, com um aumento na produção de gás natural de 12,4 bilhões de metros cúbicos em 2020 para 14,5 bilhões de metros cúbicos em 2021 e depois para 14,8 bilhões de metros cúbicos em 2022 (BP, 2023; ANP, 2023).

Após anos de instabilidade política e conflitos armados, a Líbia tem buscado restaurar a estabilidade. Esforços para reconciliação e a formação de um governo de unidade nacional têm contribuído para um ambiente mais estável, o que encoraja investimentos no setor de energia, incluindo a produção de gás. Com a melhoria da segurança e da estabilidade política, muitas instalações de produção que estavam fechadas foram reabertas. Além disso, investimentos estrangeiros têm sido atraídos para modernizar e expandir as operações de produção de gás, impulsionados pela crescente demanda no mercado internacional, especialmente o europeu.

Na Tabela 8 são listados, em ordem decrescente, os maiores consumidores de gás do continente africano, de 2020 a 2022. Nenhum país da África Subsaariana aparece nessa lista, o que evidencia déficits significativos, em termos de infraestrutura energética, acesso a recursos e desenvolvimento econômico, nessas nações.

Tabela 7 - Os maiores consumidores de gás natural da África em 2022 em relação a 2020/2021.

País	Consumo 2020 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Consumo 2021 (bilhões de m <sup>3</sup> )	Consumo 2022 (bilhões de m <sup>3</sup> )
Egito	58,3	62,2	60,7
Argélia	43,4	47,7	44,3
Marrocos	0,8	0,8	0,2

Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da BP (2023).

Em 2022, o consumo de gás natural na África atingiu 162,5 bilhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 4,12% do total mundial e com uma queda de -3,5% em relação ao ano de 2021. Em 2020 a queda foi de -0,96% em relação a 2019. O Egito foi o maior consumidor de gás natural da África no ano de 2022, com 37,37% do total da África e 1,54% do total mundial, sofrendo uma queda de -2,41% a 2021. Em seguida vem Argélia com 27,26% do total da África e 1,12% do total mundial, sofrendo uma queda de -7,12% em relação ao ano 2021. Depois vem o Marrocos com 0,12% do total da África, tendo uma queda de -75% relação ao ano 2021 (BP, 2023; ANP, 2023).

Esses países se destacam como grandes consumidores de gás natural do continente africano devido à combinação de fatores, incluindo o tamanho de suas economias, a disponibilidade de recursos naturais, a infraestrutura desenvolvida e as políticas energéticas adotadas para promover o uso do gás natural como uma fonte de energia mais limpa e eficiente. O decréscimo no consumo verificado nos últimos anos pode ser atribuído a diversos fatores, tais como a pandemia da covid-19, desaceleração econômica, custos e disponibilidade, flutuações na produção e demanda de exportações.

## 5 CONCLUSÃO

O panorama atual do mercado de gás natural no mundo é marcado por uma série de tendências e desafios significativos, moldados por uma combinação de fatores geopolíticos, econômicos, tecnológicos e ambientais. A demanda global por gás natural continua a aumentar, impulsionada principalmente pela crescente urbanização, industrialização e necessidade de fontes de energia mais limpas em todo o mundo. O gás natural é visto como uma alternativa mais limpa em comparação com o carvão e o petróleo, tornando-se uma escolha popular para atender às necessidades de energia.

O desenvolvimento de infraestrutura de GNL (gás natural liquefeito) tem aumentado a liquidez nos mercados globais de gás natural, permitindo que o gás seja transportado para regiões distantes. Isso criou uma dinâmica de mercado mais competitiva e flexível, com maior diversificação de fornecedores e compradores. Questões geopolíticas continuam a desempenhar um papel importante no mercado de gás natural, com disputas territoriais e rivalidades regionais podendo afetar a produção, transporte e preços do gás. Além disso, a busca por segurança energética tem levado alguns países a diversificar suas fontes de suprimento de gás, reduzindo sua dependência de fornecedores específicos.

Embora o gás natural seja considerado uma fonte de energia mais limpa em comparação com o carvão e o petróleo, ainda gera emissões de gases de efeito estufa durante sua produção e queima. Como resultado, há pressões crescentes para reduzir o uso de combustíveis fósseis, incluindo o gás natural, e acelerar a transição para fontes de energia renovável e de baixo carbono. Em suma, o mercado de gás natural está passando por uma fase de rápida evolução, com mudanças significativas na produção, distribuição e consumo em todo o mundo. A demanda continua a crescer, impulsionada pela necessidade de energia mais limpa, enquanto os avanços tecnológicos e as mudanças nas políticas energéticas globais estão moldando a paisagem do mercado e determinando seu futuro.

No que diz respeito à África, a indústria do gás natural está passando por um período de considerável dinamismo e expansão. Com vastas reservas ainda em grande parte inexploradas, o continente africano continua a atrair investimentos significativos de empresas globais de energia, que buscam capitalizar seu potencial como fornecedor chave de gás natural para o mercado mundial.

Um dos principais focos de atenção é Moçambique, que emergiu como um dos principais destinos para investimentos na exploração de gás natural. Com descobertas recentes de reservas substanciais offshore, Moçambique está se preparando para se tornar um dos maiores exportadores de gás natural liquefeito (GNL) do mundo. Empresas multinacionais têm investido pesadamente em projetos de liquefação de gás natural em Cabo Delgado, que prometem não apenas impulsionar a economia do país, mas também transformar sua posição no mercado global de energia.

Além de Moçambique, outros países africanos também estão despertando interesse na indústria do gás natural. A Tanzânia, por exemplo, está avançando com projetos de desenvolvimento de gás offshore, com expectativas de se tornar um exportador significativo no futuro próximo. Senegal e Mauritânia também estão se destacando com importantes descobertas de gás natural offshore, alimentando otimismo quanto ao seu potencial como novos players no mercado global de gás.

Apesar do potencial promissor, a indústria do gás natural na África enfrenta uma série de desafios. Questões como infraestrutura inadequada, instabilidade política e social, e a necessidade de desenvolver capacidades locais podem representar obstáculos significativos para o pleno aproveitamento do potencial do continente. Olhando para o futuro próximo, superadas as dificuldades, as expectativas são de um crescimento contínuo da indústria do gás natural na África. Com a demanda global por gás natural esperada para continuar aumentando, especialmente em meio aos esforços para reduzir as emissões de carbono, os países africanos estão bem posicionados para desempenhar um papel cada vez mais importante no fornecimento global de energia.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. ERMAKOV, A. 2023. **Expert commentary - The role of natural gas in powering Africa's future**. Gas Exporting Countries Forum – GECF. Online, 2023. Disponível em: <<https://www.gecf.org/events/expert-commentary-the-role-of-natural-gas-in-powering-africa%E2%80%99s-future>>. Acesso em: 10 de out., 2023.
- AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Africa Energy Outlook 2022. Special report, 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022>>. Acesso em: 11 de nov., 2023.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP N° 852, de 23 de setembro de 2021**. Regulamenta o exercício da atividade de produção de derivados de petróleo e gás natural, seu armazenamento, sua comercialização e a prestação de serviço e dá outras providências. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-852-2021-regulamenta-o-exercicio-da-atividade-de-producao-de-derivados-de-petroleo-e-gas-natural-seu-armazenamento-sua-comercializacao-e-a-prestacao-de-servico-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 24 de set., 2023.
- ALMEIDA, E. F.; FERRANO, M. C.; PINTO JÚNIOR, H. Q. **Indústria do gás natural: fundamentos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro: Synergia, 1ª ed., 2013.
- ALVES, J. E. D. **A população da África ultrapassará a população da China e da Índia em 2023**. Eco Debate, online, 2019. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2019/02/08/a-populacao-da-africa-ultrapassara-a-populacaoda-china-e-da-india-em-2023-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 10 de dez., 2023.
- AMUI, S. **Petróleo e gás natural para executivos**. Rio de Janeiro: Interciência, 1ª ed., 2008.
- ANOSIKE, N.; EL-SULEIMAN, A.; PILIDIS, P. **Associated gas utilization using gas turbine engine, performance implication - Nigerian Case Study**. Energy and Power Engineering, v. 8, p. 137-145, 2016.
- API – American Petroleum Institute. **What is Natural Gas?** Online, 2021. Disponível em: <<https://www.api.org/news-policy-and-issues/natural-gas-solutions/what-is-natural-gas>>. Acesso em: 20 de set, 2023.
- ARTHUR, T. J.; MACGREGOR, D. S.; CAMERON, N. R. **Petroleum geology of Africa: new themes and developing technologies**. London: Geological Society Pub House, 1st ed., 2003.
- BENDEZÚ, M. A. L. **Avaliação Técnico-Econômico das Alternativas Tecnológicas de Transporte de Gás Natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BICEGO et al. **Poluição por petróleo**. In: BAPSTISTA NETO, J. A.; WALNNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. (orgs). Poluição marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Estudos de alternativas regulatórias, institucionais e financeiras para a exploração e produção de petróleo e gás natural e para o desenvolvimento industrial da cadeia produtiva de petróleo e gás natural no Brasil**. São Paulo: Bain & Company/ Tozzini Freire Advogados, 2009.

BOAMAR, P. F. A. **Combustíveis automotivos: especificações técnicas e legislação**. Santa Carina: Insular, 1ª ed, 2010.

BONA, J. C. **Transição energética: o caminho para o desenvolvimento sustentável**. Online, 2020. Disponível em: <<https://certi.org.br/blog/transicao-energetica/>>. Acesso em: 29 de set., 2023.

BORSATO; D. GALÃO, O. F.; MOREIRA, I. **Combustíveis Fósseis – Carvão e Petróleo**. Londrina: Ed. Eduel, 2007.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUSA, E. C. M. **Processamento de petróleo e gás**. Rio de Janeiro: LTC, 1ª ed., 2011.

BRITO, T. P. **Estudo do efeito da distância de migração secundária do óleo na composição de compostos nitrogenados por FT-ICR MS**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

BROWN et al. **Química: a ciência central**. São Paulo: Pearson, 13ª ed., 2016.

BURANI, G. F.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M.; SLAUGHTER, C. **Relatório técnico gepea-14: Aspectos tecnológicos do GNL e do transporte do gás natural**. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.seeds.usp.br/>>. Acesso em: 29 de nov., 2023.

CBIE – CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **Como o Gás Natural pode ser Armazenado?** Disponível em: <https://cbie.com.br/como-o-gas-natural-pode-ser-armazenado/>. Acesso em: 07 de dez., 2023.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. São Paulo: Pearson, 4ª ed., 2010.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Especificação do gás natural: oportunidades e experiência internacional**. Brasília: CNI, 2019.

CÔRREA, O. L. S. **Petróleo - Noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

DEMBICKI JR., H. **Practical petroleum geochemistry for exploration and production**. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier Science, 2nd ed., 2022.

DIAS, M. S.; BRAGA, L. F. S. **Uso do campo potencial na exploração dos recursos minerais marinhos**. Brazilian Journal of Geophysics, vol. 18, p. 257-268, 2000.

EIA – Energy Information Administration. **Carbon dioxide emissions coefficients**. Online, 2023. Disponível em:

<[https://www.eia.gov/environment/emissions/co2\\_vol\\_mass.php](https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php)>. Acesso em: 29 de out., 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. GNL de Pequena Escala. Estudo de caso no Brasil. Nota técnica EPE/DPG/2022/06, 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Monetização de gás natural onshore no Brasil**. Nota técnica EPE/DPG/SPG/03/2020.REV1, 2020a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Monetização de gás natural offshore no Brasil**. Nota técnica EPE/DPG/SPG/05/2020.REV1, 2020a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Considerações sobre a Participação do Gás Natural na Matriz Energética no Longo Prazo**. Documento de Apoio ao PNE 2050. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Considera%C3%A7%C3%B5es%20sobre%20a%20Participa%C3%A7%C3%A3o%20do%20G%C3%A1s%20Natural%20na%20Matriz%20Energ%C3%A9tica%20no%20Longo%20Prazo.pdf>>. Acesso em: 01 de nov., 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Estocagem subterrânea de gás natural. Aspectos gerais regulatórios, estimativa de custos e simulação. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-190/EPE,%202018%20-%20Estocagem%20Subterr%C3%A2nea%20de%20G%C3%A1s%20Natural.pdf>>. Acesso em: 01 de dez., 2023.

FARIAS, R. F. **Introdução à química do petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2008.

FERNÁNDEZ, E. F.; PEDROSA JÚNIOR, O. A.; PINHO, A. C. **Dicionário do petróleo em língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Lexikon - PUC Rio, 1ª ed., 2009.

GARCIA, R. **Combustíveis e combustão industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª ed., 2013.

GAUTO, M. **Petróleo e gás: princípios de exploração, produção e refino**. Série Tekne. Porto Alegre: Bookman, 1ª ed., 2016.

GONZÁLEZ-DE LEÓN, M.; SCIPIO-CIMETTA, S. D. **The role of natural gas in today's energy transition**. DYNA, v. 89, n. 221, p. 92-100, 2022.

GÜRSAN, C., de GOOYERT, V. **The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition?** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 138, 110552, 2021.

HAFNER, M.; LUCIANI, G. **The Palgrave Handbook of International Energy Economics**. Gewerbestrasse: Palgrave Mcmillan, 2022.

HILDEBRAND, G. **Energias renováveis: quais as vantagens e desvantagens?** Grupo MS Engenharia. Online, 2019. Disponível em: <<https://www.grupomsengenharia.com/post/roz%C5%A1i%C5%99ujte-svoji-komunitu-na-blogu>>. Acesso em: 05 de out. de 2023.

IGU – INTERNATIONAL GAS UNION. **Case studies in improving urban air quality**. Norway, 2016. Disponível em: [https://www.igu.org/app/uploads-wp/2015/12/IGU\\_Urban-Air-Quality-FINAL-for-web-etc-min.pdf](https://www.igu.org/app/uploads-wp/2015/12/IGU_Urban-Air-Quality-FINAL-for-web-etc-min.pdf). Acesso em: 15 de out., 2023.

KAISER, M. J.; MCALLISTER, E. W. **Pipeline rules of thumb handbook: a manual of quick, accurate solutions to everyday pipeline engineering problems**. Houston: Gulf Professional Publishing, 9th ed., 2022.

KOOP, F. 2022. Gás natural: faça de dois gumes na transição energética da América Latina. Disponível em: <<https://dialogochino.net/pt-br/mudanca-climatica-e-energia-pt-br/50409-natural-gas-latin-america-energy-transition/>>. Acesso em: 10 de dez., 2023.

LNG Industry. Africa: The natural gas sleeping giant. Online, 2023. Disponível em: <<https://www.lngindustry.com/special-reports/13092023/africa-the-natural-gas-sleeping-giant/#:~:text=Africa%20is%20a%20land%20full,to%20that%20of%20the%20US.>>>. Acesso em: 10 de dez., 2023.

LÓPEZ, E. M.; CALVO, E. G. **Conociendo el “Gas Natural”: actualidad y perspectivas**. Instituto IMDEA agua. Online, 2014. Disponível em: <[chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://eprints.imdea-agua.org:13000/388/1/GAS\\_NATURAL%20.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://eprints.imdea-agua.org:13000/388/1/GAS_NATURAL%20.pdf)>. Acesso em: 11 de nov., 2023.

MARQUES, G. T. S. **História da química**. Fortaleza: EdUECE, 2ª ed., 2019.

NEW CLIMATE INSTITUTE; CLIMATE ANALYTICS. **Natural gas in Africa: why fossil fuels cannot sustainably meet the continent’s growing energy demand**. Climate Action Tracker. Online, 2022. Disponível em: <[https://climateactiontracker.org/documents/1048/CAT\\_2022-05\\_Report\\_NaturalGasinAfrica.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/1048/CAT_2022-05_Report_NaturalGasinAfrica.pdf)>. Acesso em 05 de out. de 2023.

MELO, R. B. A. V. S **Avaliação Mercadológica do Gás Natural Comprimido**. Monografia (Especialização em Petróleo e Gás Natural). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MOKHATAB, S. S. **Processamento e transmissão de gás natural**. São Paulo: LTC, 2ª ed., 2014.

MUÑOZ, C. P. F.; GOMES, I.; HOLLANDA, L. **Gás natural**. Cadernos FGV Energia, ano 1, n. 2, 2014.

NATIONS ONLINE. **Países da África**. Disponível em: <https://www.nationsonline.org/oneworld/africa.htm>. Acesso em: 10 de dez. 2022.

NIKOLAOU, M. **Optimizing the logistics of compressed natural gas transportation by marine vessels**. Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 2, p. 1-20, 2010.

OLIVEIRA, B. **Energia nuclear: vantagens e desvantagens**. InQ-IFBA, Portal da Inovação e Qualidade. Online, 2022. Disponível em: <<https://inq.conquista.ifba.edu.br/v1/energia-nuclear-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em 18 de out. de 2023.

OPEP – ORGANIZAÇÃO DOS PAÍSES EXPORTADORES DE PETRÓLEO. **General Notes: definitions**. Online, 2023. Disponível em: <[https://asb.opec.org/ASB\\_GeneralNotes.html](https://asb.opec.org/ASB_GeneralNotes.html)>. Acesso em 02 de set. de 2023.

ORIGO ENERGIA. **Energia nuclear: vantagens e desvantagens. Saiba aqui!** Online, 2023. Disponível em: <<https://origoenergia.com.br/blog/energia/energia-nuclear-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em 16 de out. de 2023.

PALMA, C. M. **Petróleo: exploração, produção e transporte sob a óptica do direito ambiental**. Campinas: Ed. Millennium, 2011.

PANFORD, K. **Africa's natural resources and underdevelopment: how Ghana's petroleum can create sustainable economic prosperity**. London: Palgrave Macmillan, 1st ed., 2017.

PBGAS – Companhia Paraibana de Gás. **Vantagens do Gás Natural**. Online, 2021. Disponível em: <<https://pbgas.com.br/vantagens-do-gas-natural/>>. Acesso em 03 de out. de 2023.

PEREIRA, C. A. A. **A ascensão do combustível fóssil: aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais da substituição da lenha pelo carvão mineral**. Revista Internacional de Ciências, v. n. 02, p. 127-132, 2019.

PETROBRAS. **Exploração e produção para garantir a energia necessária à sociedade**. Online, 2023a. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/quem-somos/exploracao-e-producao>>. Acesso em 07 de nov. de 2023.

PETROBRAS. **Gás Liquefeito de Petróleo: combustível que vai muito além da cozinha**. Online, 2023b. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/quem-somos/gas-liquefeito-de-petroleo#:~:text=O%20g%C3%A1s%20liquefeito%20de%20petr%C3%B3leo,para%20uso%20dom%C3%A9stico%20e%20industrial.>>. Acesso em 14 de nov. de 2023.

- PINTO, F. R. **A indústria do petróleo e o cenário de exploração e produção em Angola**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energias). Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022).
- POMINI, A. M. **A química na produção de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- PORTO, P. A. **O médico George Thomson e os primeiros desenvolvimentos do conceito de gás**. Quim. Nova, Vol. 24, n. 2, 286-292, 2001.
- PRADO, T. **Entenda o que é a cadeia Produtiva, qual a sua importância e muito mais!** Online, 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/cadeia-produtiva>>. Acesso em: 07 de nov. de 2023.
- QUARANTA, I. C. C. **Dimensionamento de uma coluna de absorção para processamento de gás natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- QUEIROZ, M. S. **A utilização do petróleo e sua sustentabilidade no Brasil**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental). Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2015.
- RAMOS, A. **Plataforma de gás é a maior construção já movida de um ponto ao outro no mundo**. Online, 2015. Disponível em: <<https://engenhariae.com.br/estagio-sem-fronteiras/plataforma-de-gas-e-a-maior-construcao-ja-movida-de-um-ponto-ao-outro-no-mundo>>. Acesso em: 14 de nov. de 2023.
- ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J.A.D. **Engenharia de reservatórios de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 1ª ed., 2006.
- SANT'ANNA, A. A. **Simulação de processamento de gás natural em plataforma offshore**. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- SANTOS, E. M.; ZAMALLOA, G. C.; VILLANUEVA, L. D.; FAGÁ, M. T. W. **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**. São Paulo: Annablume, 2002.
- SCHLÜTER, T. **Geological atlas of Africa: with notes on stratigraphy, tectonics, economic geology, geohazards, geosites and geoscientific education of each country**. Heidelberg: Springer, 2nd ed., 2008.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 8ª ed., 2018.
- SOARES, F. A. P. **Análise da cadeia gaseífera maranhense: diagnóstico e perspectivas de incremento**. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- SPEIGHT, J. G. **Natural gas: a basic handbook**. Laramie: Gulf Professional Publishing, 2nd ed., 2019.

- TAVARES, A. **O papel do transporte de gás natural na transição energética.** Online, 2021. Disponível em: < <https://ensaioenergetico.com.br/o-papel-do-transporte-de-gas-natural-na-transicao-energetica/>>. Acesso em: 10 de dez., 2023.
- TEIXEIRA, C. A. T.; MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C.; ROCIO, M. A. R.; PRATES, H. F. **Gás natural – um combustível-chave para uma economia de baixo carbono.** BNDES Set., v. 27, n. 53, p. 131-175, 2021.
- TEIXEIRA, J. P. B. **Gás natural: o energético mais competitivo.** Rio de Janeiro: Pod Editora, 1ª ed., 2015.
- TEIXEIRA, J. P. B. **Desenvolvimento de um método para avaliar a competitividade do gás natural nos setores residencial e comercial.** Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial). Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC Salvador, 2013.
- TRACTEBEL ENGINEERING S.A. **CNG for commercialization of small volumes of associated gas.** Complete Report in English. Washington, D.C.: World Bank Group. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/210571472125529218/pdf/104200-V2-WP-CNGcommercialization-PUBLIC-Main-report-REPLACEMENT.pdf>>. Acesso em: 30 de nov., 2023.
- URNS, S. R. **Introdução à combustão: conceitos e aplicações.** São Paulo: Mc Graw Hill/Bookman, 3ª ed., 2013.
- VAZ, C. E. M.; MAIA, J. L. P.; SANTOS, W. G. **Tecnologia do gás natural.** São Paulo: Blucher, 1ª ed., 2008.
- WORLD BANK. **GGFR Technology Overview – Utilization of Small-Scale Associated Gas.** Washington, D.C.: World Bank Group, 2018. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/469561534950044964/GGFR-Technology-OverviewUtilization-of-Small-Scale-Associated-Gas>>. Acesso em: 30 de nov., 2023.