

## LIQUEFAÇÃO, TRANSPORTE E REGASEIFICAÇÃO DO GÁS NATURAL (GNL) PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E USO INDUSTRIAL

Karina S. Germek (IC), Rogério José da Silva (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Gás natural liquefeito. Liquefação. Transição energética.

### Introdução

Este trabalho foi realizado com o intuito de se aprofundar acerca do uso do gás natural liquefeito e os diversos aspectos que englobam sua liquefação, transporte e a regaseificação. Foram abordadas questões relevantes ao cenário atual de gás como importação, exportação, transição energética e demais fatores pertinentes. Desde o segundo semestre de 2021, a Europa vem enfrentando problemas com o aumento dos custos do gás natural, e a partir de 2022, devido ao conflito gerado com a invasão da Rússia na Ucrânia. Cerca de 40% do gás natural consumido na Europa era fornecido através de gasodutos, fazendo o transporte entre os campos de gás russos e os pontos de consumo na Europa. Com a guerra na Ucrânia, o fornecimento de gás natural russo via gasodutos foi interrompido.

É nesse cenário que o GNL (Gás Natural Liquefeito) ganha maior destaque, pois o gás nesta forma pode ser transportado por longas distâncias, permitindo assim, a comercialização com diferentes países por via marítima, e não apenas com o uso de gasodutos para transporte. Por fim, com o tratado de Paris firmado por 195 países, aumentou a busca por energia limpa e renovável, e o gás natural, sendo o combustível fóssil menos poluente, é um grande aliado na transição energética, por substituir o carvão em muitos usos, e também na geração termelétrica, com menores emissões de CO<sub>2</sub>.

Dessa forma, o objetivo principal deste artigo é a revisão teórica da bibliografia disposta acerca do assunto, como também, de informações atuais sobre o uso do gás natural, para que assim possa ser feito um panorama geral do GNL no mundo.

### Metodologia

A metodologia empregada neste relatório foi a revisão bibliográfica de artigos científicos, boletins de empresas, boletins de agências e de órgãos governamentais, e demais fontes ligadas à liquefação, transporte e

regaseificação do gás natural liquefeito, mais conhecido como GNL. Para isso foram coletados dados quantitativos e qualitativos, utilizando uma abordagem combinada. Ademais, foram (revisadas) diversas notícias sobre o tema em busca de produzir um artigo o mais atual possível, uma vez que o cenário do GNL enfrenta diversas mudanças ao longo da crise entre Ucrânia e Rússia.

Os critérios utilizados para a coleta de dados foram refinamento de palavras chave, relevância e envolvimento com o tema e fontes com credibilidade (órgãos governamentais, centros de pesquisa e universidades, empresas renomadas etc).

A abordagem utilizada permite um agrupamento de informações coletadas em diversos meios, facilitando o entendimento do assunto como um todo. Contudo, apresenta falhas, dado que não é viável revisar a totalidade da bibliografia existente acerca do assunto. Além disso, como o cenário de gás natural está em constante mudança, é utópico prever a mudança de cenário no futuro.

### Resultados e discussão

Para o transporte de GNL a longas distâncias, primeiro tem-se a necessidade de liquefação do gás. Isso é realizado para diminuir o espaço de armazenamento, uma vez que o GNL quando é refrigerado a uma temperatura inferior a -162° C e uma pressão de 101325 Pa, diminui seu volume a uma fração de 600 vezes de seu tamanho original. Contudo, esse processo requer um grande gasto de energia, tornando esse processo caro e movimentando pesquisas na busca de formas mais eficientes de realizar esse processo.

O processo de uma planta de liquefação é baseado no princípio de operação de refrigeração e os principais componentes para executar o processo são: compressores, dispositivos de expansão, trocadores de calor, bombas e separadores.

Segundo um estudo realizado pelo departamento de

engenharia química da Universidade Nacional de Singapura (Tianbiao et al, 2017) existem três formas de realizar a liquefação do gás natural, sendo elas: Liquefação em cascata, liquefação de refrigerante misto e liquefação baseada em expansão.

Cada uma dessas formas de liquefação apresenta vantagens e desvantagens, e a escolha do processo depende das condições específicas do gás natural que se deseja liquefazer. Os três ciclos de refrigeração independentes adotam três refrigerantes de temperatura de ebulição diferentes para fornecer capacidade de refrigeração em diferentes faixas de temperatura (Tianbiao et al, 2017).

A liquefação em cascata utiliza dois ou mais refrigerantes distintos com pontos de ebulição diferentes, e a temperatura é reduzida gradualmente ao longo do processo. Os refrigerantes tipicamente utilizados são propano, etileno e metano. Esse processo é considerado mais eficiente em termos de energia, mas também é o mais complexo e requer mais equipamentos. Já a liquefação de refrigerante misto utiliza um refrigerante misturado para reduzir a temperatura do gás natural. Esse processo é mais simples que a liquefação em cascata, mas requer mais energia.

Por fim, a liquefação baseada em expansão utiliza a expansão direta do gás natural para reduzir sua temperatura. Esse processo é o mais simples e requer menos equipamentos, mas também é o menos eficiente em termos de energia.

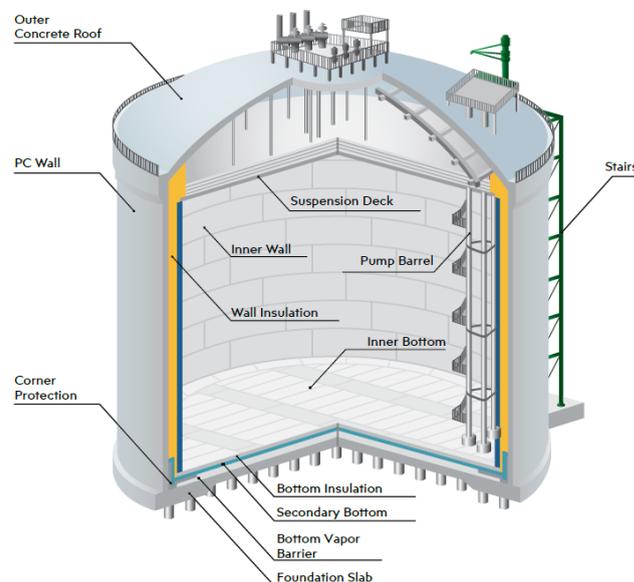
A escolha do processo ideal depende de uma série de fatores, incluindo as características do gás natural, as condições locais, as necessidades de transporte, entre outros. Além disso, as tecnologias de liquefação de gás natural estão constantemente evoluindo, e novas abordagens podem ser desenvolvidas no futuro. O importante é sempre buscar a opção que melhor atenda às necessidades específicas de cada caso, promovendo a eficiência, a segurança e a sustentabilidade do processo de liquefação de gás natural (LI e JU, 2010).

Desse modo, a liquefação em cascata é um processo atrativo atualmente, uma vez que produz alta eficiência termal tendo baixo consumo de energia. Porém, sua maior desvantagem é o alto custo de capital devido ao número de circuitos de refrigeração, sendo que cada um deles requer seu próprio compressor e tanque de armazenamento de refrigerante. Sendo assim, o custo de manutenção tende a ser alto devido ao grande número de equipamentos. (Finn et al, 1999).

Após o processo de liquefação o GNL é armazenado em tanques de contenção, que normalmente tem capacidade

de 160.000 m<sup>3</sup> e pressão de 1 atmosfera. O sistema de contenção tem dois tanques, sendo um interior para a colocação do produto e o exterior como garantia de que não haja fugas e vazamentos. O material do tanque de contenção interno é feito de uma liga especial de níquel concebido para resistir a baixas temperaturas, enquanto o tanque de contenção externo é concreto armado com laje armada e cobertura. Cada tanque é isolado termicamente para manter o GNL a temperatura em aproximadamente -162 °C e tem sofisticados sistemas de proteção automática para monitorar o nível do tanque, sua pressão, temperatura e qualquer potencial fuga (Cameron LNG). Na Figura 1 é possível observar as partes de um tanque de armazenamento.

Figura 1 – Tanque de armazenamento de GNL

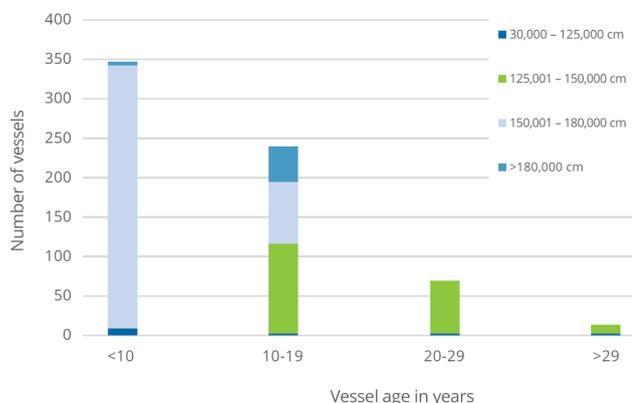


Fonte: Cameron LNG, 2017

O transporte de gás natural liquefeito é realizado principalmente por meio de navios cargueiros, denominados navios metaneiros, os quais são especialmente projetados para essa finalidade. Eles requerem diversas tecnologias para garantir que o GNL permaneça em seu estado criogênico obtido após o processo de liquefação.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) a demanda de GNL deve aumentar a uma média de 4% ao ano até 2035. O gás natural deverá apresentar um crescimento de mais de 40% na demanda, nas próximas duas décadas. Sendo assim, para o crescimento do mercado de gás natural liquefeito é necessário o aumento da frota de navios metaneiros, capaz de realizar o transporte a longas distâncias. Na Figura 2 é possível observar a capacidade da frota metaneira relacionada aos seus anos de idade.

Figura 2 – Capacidade da frota por idade dos navios, final de abril de 2023



Fonte: Rystad Energy, 2023

Segundo a IGU (International Gas Union), no final de abril de 2023, estavam em construção 312 navios-tanque de transporte de GNL. Desses 312 navios, 28 estão programados para entrega no final de 2023, 81 em 2024, 88 em 2025, 85 em 2026, 29 em 2027 e um em 2028.

Já os sistemas de contenção dos navios de GNL são projetados para garantir a segurança e prevenir vazamentos do gás durante o transporte. Ele consiste em estruturas e materiais que impedem a fuga do GNL em caso de danos ou falhas no tanque de armazenamento. Segundo Alan da Silva Esteves, existem quatro tipos principais de sistemas de contenção para metaneiros. São eles: tanques de parede esférica, tanques com sistema de dupla membrana, tanques com estruturas prismáticas auto-portante e tanques independentes auto-portantes. A Figura 3 mostra um exemplo de navio metaneiro de parede esférica.

Figura 3 - Navio metaneiro com tanques de parede esférica.



Fonte: Fluenta, 2018

Nos projetos com dupla membrana, por exemplo, são utilizadas uma ou duas finas camadas de aço inoxidável ou aço liga de alto teor de níquel, com espessuras variando entre 0,7 e 1,2 mm. Essa membrana permite uma contenção de carga hidrostática de 25.000 m<sup>3</sup> de gás natural, mas se vale do navio para ter suporte estrutural (Pitblado et al, 2004).

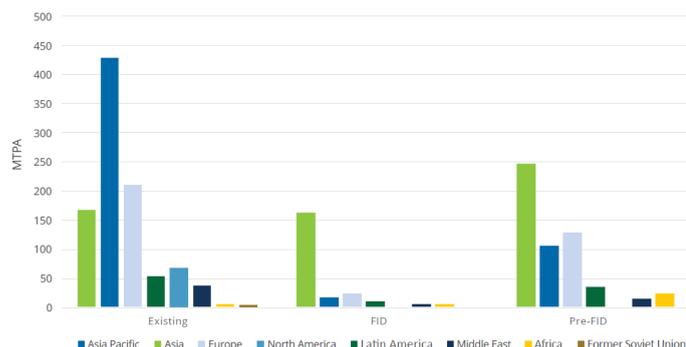
Sobre os sistemas de propulsão, segundo a IGU, eles influenciam os níveis de despesas de capital, despesas operacionais, emissões, escala do navio, fiabilidade do navio e a conformidade com a regulamentação. Antes do início dos anos 2000, os sistemas de propulsão disponíveis para estes tipos de navio de transporte de GNL eram com turbinas a vapor para acionamento das hélices. O vapor usado era gerado em caldeiras que queimavam o gás de evaporação e óleo pesado. O aumento dos custos do óleo combustível e regulamentos de emissões mais rigorosos levaram ao desenvolvimento de alternativas mais eficientes, como o DFDE (Dual Fuel Diesel Electric), o TFDE (Tri-Fuel diesel electric propulsion ships) e o diesel de baixa velocidade com unidade de reliquefação (SSDR). Nos últimos anos, sistemas de contenção modernos que geram menos gás de ebulição e o aumento do comércio a curto prazo e spot de GNL de curto prazo e de comércio à vista de GNL geraram a procura de sistemas de propulsão mais flexíveis e eficientes para se adaptarem a velocidades, distâncias e condições de navegação variadas.

Por fim, durante as duas últimas décadas, o custo total da tecnologia de GNL diminuiu significativamente devido à melhoria do processo de liquefação. No entanto, o sistema de regaseificação não foi consideravelmente melhorado (Fahmy et al, 2015).

As instalações de regaseificação de GNL são constituídas por terminais para navios, instalações de recepção e armazenamento de GNL, instalações de vaporização e serviços de apoio. Os terminais de GNL podem ser construídos onshore ou offshore (Foss, 2012). A regaseificação de GNL onshore é atualmente a tecnologia mais comum e desenvolvida, mas os terminais em terra enfrentam potenciais problemas ambientais, de licenciamento e de custos.

Na Figura 4 a seguir é possível observar a capacidade de regaseificação de gás natural por região durante o ano de 2023.

Figura 4 – Capacidade de regaseificação de gás natural por região no ano de 2023

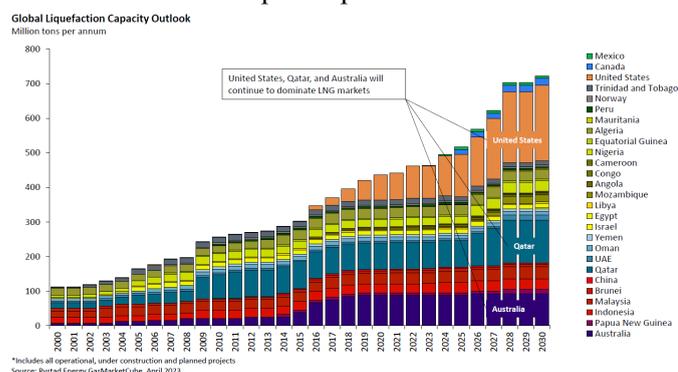


Fonte: Rystad Energy, 2023

Segundo a IGU, a capacidade global de regaseificação atingiu 970,6 MTPA em 48 mercados em abril de 2023. Em 2022, com o lançamento de nove novos terminais de importação e a conclusão de três projetos de expansão em terminais existentes, foi acrescentado no mundo, 31,2 MTPA de capacidade de regaseificação. O maior acréscimo de capacidade do ano foi o de Nong Fab LNG, na Tailândia, com 7,5 MTPA.

A capacidade de produção de gás natural liquefeito nos principais países produtores, conforme Figura 5, mostra que Estados Unidos, Qatar e Austrália, são os países com a maior capacidade de liquefação de gás natural, com grande influência no mercado mundial.

Figura 5 – Capacidade instalada para liquefação de gás natural em diferentes países produtores.



Fonte: Diaz, C. T – RystadEnergy, 2023

## Conclusões

É possível concluir que o gás natural e, especialmente, o GNL tem grande relevância no cenário atual, principalmente na geração de energia. A utilização de gás natural na transição energética é de suma importância, pois, devido a intermitência das fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, por exemplo, as centrais a gás natural operam de forma complementar, com baixa inércia, podendo entrar em

operação ou variar a geração de energia, conforme as exigências de carga.

Desse modo, o entendimento de todo o processamento do gás natural, abordando sua liquefação, transporte e regaseificação, é de extrema importância para sua melhor utilização e maior desenvolvimento de novas tecnologias, melhorando este processo e diminuindo custos. Desta forma, os países que necessitam de geração térmica complementar, poderão passar por uma transição energética com maior eficiência e segurança.

Por fim, entende-se que o gás natural continuará tendo relevância nos próximos anos, já que é o combustível fóssil menos poluente utilizado nos dias de hoje. O gás natural poderá ser utilizado em um mix com hidrogênio em várias aplicações, e ser substituído por ele, nas próximas décadas. Para um futuro mais distante, é possível que outras tecnologias menos poluentes estejam disponíveis para uso.

## Agradecimentos

Agradeço ao órgão de fomento Fapemig, a Universidade Federal de Itajubá e ao meu professor e orientador Rogério J. Silva pelo apoio e por tornar possível essa pesquisa.

## Referências

DA SILVA ESTEVES, Alan. **MODELAGEM MATEMÁTICA DE DERRAMES CRIOGÊNICOS E DE INCÊNDIOS EM POÇA NO TRANSPORTE**

FAHMY, M.F.M.; NABIH, H.I. ; EL-RASOUL, T.A. **Optimization and comparative analysis of LNG regasification processes.** *Energy*, v. 91, p. 371–385, 2015.

FOSS, Michelle. **LNG SAFETY AND SECURITY.** [s.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <[https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG\\_Safety\\_and\\_Security\\_Update\\_2012.pdf](https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG_Safety_and_Security_Update_2012.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2020.

HE, Tianbiao ; JU, Yonglin. **Optimal synthesis of expansion liquefaction cycle for distributed-scale LNG (liquefied natural gas) plant.** *Energy*, v. 88, p. 268–280, 2015.

LI, Q.Y. ; JU, Y.L. **Design and analysis of liquefaction process for offshore associated gas resources.** *Applied Thermal Engineering*, v. 30, n. 16, p. 2518–2525, 2010.

PITBLADO, R M ; BAIK, J; HUGHES, G J; et al. **Consequences of LNG Marine Incidents.** [s.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <<https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:cd2f183a-24c0-4c03-a697-3470b5c9491c>>. Acesso em: 16 set. 2023.

YALAN, Li. **2023 World LNG Report.** IGU.