



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP
FACULDADES DE ESTUDOS SOCIAIS - FES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA INOVAÇÃO - PROFNIT

VERA LUCIA LIMA GOMES

**ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL)
COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO
AMAZONAS**

MANAUS
2024

VERA LUCIA LIMA GOMES

**ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL)
COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO
AMAZONAS**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação do PROFNIT Ponto focal Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosana Zau Maфра

MANAUS
2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

G633e Gomes, Vera Lucia Lima
Estudo Prospectivo para uso de Gás Natural Liquefeito (GNL)
como combustível em transporte aquaviário no Estado do
Amazonas / Vera Lucia Lima Gomes . 2024
92 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Rosana Zau Mafra
Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e
Transferência de Tecnologia para Inovação) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. estudo prospectivo. 2. gás natural liquefeito. 3. cilindros de
armazenagem de GNL. 4. estado do Amazonas. I. Mafra, Rosana
Zau. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

VERA LUCIA LIMA GOMES

**ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL)
COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO
AMAZONAS**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Propriedade
Intelectual e Transferência de Tecnologia para
Inovação do PROFNIT.

Aprovada em: 28/05/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosana Zau Mafra

Orientadora PROFNIT: Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Daniel Reis Armond de Melo

Membro interno/PROFNIT: Universidade Federal do Amazonas

MSc. Marcos Vinícius Almeida Narciso

Membro externo/representante do setor do TCC

Prof. Dr. Raphael Magalhães Gomes Moreira

Membro externo/PROFNIT/Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito
Santo, IFES

Profa. Dra. Jussara Socorro Cury Maciel

Membro externo/Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, IFAM

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, já falecidos, mas que sempre buscaram me ensinar o valor da educação para vencer o mundo, principalmente à minha mãe que foi uma grande mulher e me deu todo o apoio para os estudos e sempre apresentava um brilho de orgulho nos olhos quando ia a alguma formatura minha.

AGRADECIMENTOS

Externo meus agradecimentos a minha família que me apoiou de variadas formas nessa caminhada e que sempre me deu incentivo. Ao meu companheiro de vida João Sales por sua paciência e apoio. Aos meus orientadores Professora Doutora Rosana Zau Mafra e Professor Doutor Nelson Kuwahara por todo o empenho e senso prático com que sempre me orientaram neste trabalho.

Agradeço igualmente aos meus colegas do Mestrado pelo apoio e amizade, os quais se fizeram presentes em diversos momentos para empreendermos bons projetos durante o curso.

Agradeço a servidora da biblioteca da UFAM Ângela Emi Yanai que foi imensamente prestativa comigo e me ajudou a ultrapassar um grande obstáculo.

Agradeço as demais pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista. Meu muito obrigada a todos e minha eterna gratidão.

À FAPEAM:

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Programa de Apoio à Pós-Graduação *Strictu Sensu* – POSGRAD – Edição 2021-2022. Edital: Resolução N.008/2021 – POSGRAD 2021/2022 – UFAM, através de bolsa de mestrado POSGRAD. Agradeço também ao apoio institucional da FAPEAM e FAPESP, viabilizado ao projeto “Modelagem, Otimização e Simulação de Rede de Distribuição de GNL para a Cadeia Produtiva do Gás Natural na Amazônia Brasileira”, Termo de Outorga FAPEAM: 049/2021, Processo FAPEAM N. 01.02.016301.00283/2021 e Processo FAPESP N. 2020/08835-8, Edital CHAMADA PÚBLICA N. 001/2020 – FAPESP FAPEAM.

RESUMO

Pela sua composição, o gás natural é considerado uma fonte de energia sustentável em termos ambientais. Este recurso natural tem sido usado em vários setores da atividade econômica - de usinas termelétricas a combustível de automóveis. O setor marítimo passou a considerar o uso do gás natural liquefeito como combustível em navios para atender às normas do setor, atentando para a questão da sustentabilidade ambiental. Considerando que o Estado do Amazonas tem o modal fluvial como o principal meio de transporte para cargas e passageiros e, ao mesmo tempo, é um grande produtor nacional desse recurso, buscou-se prospectar o estado da arte de tecnologias de uso de gás natural liquefeito como combustível nas embarcações para se propor melhorias sustentáveis e econômicas para este setor. Este trabalho trata-se de um estudo prospectivo para o uso do Gás Natural Liquefeito (GNL), considerando possibilidades de desenvolvimento de novas tecnologias de tanques de armazenagem para o setor aquaviário no estado do Amazonas. Teve como objetivo geral realizar uma análise prospectiva do estado atual de desenvolvimentos científico e tecnológico dos tanques cilíndricos de armazenagem de Gás Natural Liquefeito (GNL) utilizado em embarcações movidas a este tipo de gás. A metodologia empregada foi dividida em três etapas: pré-prospectiva, prospectiva e pós-prospectiva, utilizando-se de dados secundários coletados de bases de periódicos científicos e bases patentárias (*Google* e *Orbit Intelligence*). Os resultados mostraram que já existem diversas tecnologias para o uso do GNL no setor marítimo, nos continentes asiático, americano e europeu, as quais podem ser adaptadas ao mercado local, considerando que essas tecnologias minimizam o impacto da emissão dos gases. Contudo, por ser volátil, o GNL apresenta riscos, necessitando de estruturas específicas que sejam capazes de armazená-lo de forma adequada levando-se em conta as condições geográficas da região amazônica. Esta prospecção tecnológica resultou em um Relatório Técnico Científico, o qual poderá ser acessado para a obtenção de um portfólio com diversas especificações de cilindros de armazenagem de GNL, e que visa oferecer auxílio para tomadas de decisão dos *players* do segmento aquaviário e de outros setores afins.

Palavras-chave: Estudo prospectivo; Gás Natural Liquefeito; Cilindros de armazenagem de GNL, estado do Amazonas.

ABSTRACT

Due to its composition, natural gas is considered an environmentally sustainable energy source. This natural resource has been used in various sectors of economic activity - from thermal power plants to car fuel. The maritime sector has begun to consider the use of liquefied natural gas as fuel for ships in order to comply with industry standards, paying attention to the issue of environmental sustainability. Considering that the State of Amazonas has river transport as the main means of transportation for cargo and passengers and, at the same time, is a major national producer of this resource, we sought to prospect the state of the art of technologies for using liquefied natural gas as fuel for vessels in order to propose sustainable and economic improvements for this sector. This work is a prospective study for the use of Liquefied Natural Gas (LNG), considering possibilities of developing new storage tank technologies for the waterway sector in the state of Amazonas. The general objective was to carry out a prospective analysis of the current state of scientific and technological developments of cylindrical storage tanks for Liquefied Natural Gas (LNG) used in vessels powered by this type of gas. The methodology employed was divided into three stages: pre-prospective, prospective and post-prospective, using secondary data collected from scientific journals and patent databases (Google and Orbit Intelligence). The results show that there are already several technologies for the use of LNG in the maritime sector, in the Asian, American and European continents, which can be adapted to the local market, considering that these technologies minimize the impact of gas emissions. However, because it is volatile, LNG presents risks, requiring specific structures that are capable of storing it adequately, taking into account the geographic conditions of the Amazon region. This technological prospecting resulted in a Scientific Technical Report, which can be accessed to obtain a portfolio with various specifications of LNG storage cylinders, and which aims to offer assistance for decision-making by players in the waterway segment and other related sectors.

Keywords: Technological prospecting; Liquefied Natural Gas; LNG storage cylinders; state of Amazonas.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BOG	Boil-Off-Gas (Vapor de Gás Natural)
CO2	Dióxido de carbono
Código IGC	Código Internacional para a Construção e Equipamentos de Navios Transportadores de Gases Liquefeitos a Granel
Código IGF	Código Internacional de Segurança para Navios a Gás da IMO
CPC	Classificação Cooperativa de Patentes
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNL	Gás Natural Liquefeito
GW	Gigawatt
HFO	Óleo combustível pesado
IMO	Organização Marítima Internacional
IPC	Classificação Internacional de Patentes
LPV	Lattice Pressure Vessels
MCP	Motor principal
MDO	Óleo diesel
NOx	Óxido de nitrogênio
OM	Material particulado
OPE/EPO	Organização Europeia de Patentes
POSGRAD	Programa de Apoio à Pós-Graduação <i>Stricto sensu</i>
PROFNIT	Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RCGI	Centro de Pesquisa para Inovação em Gás Natural
RTC	Relatório Técnico Conclusivo
Sindnaval	Sindicato da Indústria da Construção Naval, Náutica, <i>Offshore</i> e Reparos do Amazonas
SOLAS	Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar
SOx	Óxido de enxofre
TUP	Terminal de Uso Privativo
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
USP	Universidade de São Paulo
VPT	Vasos de Pressão Trelaçados

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Navio movido a GNL.	20
FIGURA 2 - Ferry Ivete Sangalo.	210
FIGURA 3 - Esquema de um sistema de propulsão de um navio mercante.	22
FIGURA 4 - Esquema de alimentação de navio movido a gás.	23
FIGURA 5 - Tanques Independentes classificados pela IMO.	26
FIGURA 6 - Tipos de Embarcação da região Norte.	30
FIGURA 7 - Etapas metodológicas da Prospecção tecnológica.	34
FIGURA 8 - Produção Científica Anual.	41
FIGURA 9 - Produção por afiliação.	42
FIGURA 10 - Tópicos em tendência.	43
FIGURA 11 - Relação à densidade e centralidade dos temas.	44
FIGURA 12 - Depósito anual de patentes relacionadas a tanques cilindros de armazenagem de GNL como combustível.	45
FIGURA 13 - Domínios de Tecnologia dos pedidos de patentes relacionadas à cilindros de armazenagem de GNL.	46
FIGURA 14 - Países onde as patentes estão depositadas.	48
FIGURA 15 - Classificação dos 10 principais players das tecnologias relacionadas a cilindros de armazenagem de GNL.	48
FIGURA 16 - Tanque de GNL com função de resistência microssísmica.	63
FIGURA 17 - Esquema de molas do tanque de GNL.	63
FIGURA 18 - Módulo retangular do Tanque de GNL tipo treliça.	65
FIGURA 19 - Módulo singular do Tanque de GNL tipo treliça.	65
FIGURA 20 - Formato da cavidade interna do Tanque de GNL tipo treliça.	65
FIGURA 21 - Partes dos módulos do Tanque de GNL tipo treliça.	65
FIGURA 22 - Geometria das paredes celulares externas do tanque.	67

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Características dos diferentes tipos de motores.	24
QUADRO 2 - Propriedades do GNL.....	28
QUADRO 3 - Palavras –chaves/termos de busca na <i>Scopus</i>	35
QUADRO 4 - Sintaxes de busca no <i>Orbit Intelligence</i>	37
QUADRO 5 - Definições dos códigos IPC e CPC embasados nas buscas desta pesquisa..	38
QUADRO 6 - Patentes selecionadas com potencial de aplicabilidade para o Setor Aquaviário do Amazonas.	55

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	12
2 INTRODUÇÃO	14
3 JUSTIFICATIVA	16
3.1 LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC	16
3.2 ADERÊNCIA AO PROFNIT	16
3.3 IMPACTO	17
3.4 APLICABILIDADE	17
3.5 INOVAÇÃO	17
3.6 COMPLEXIDADE	17
4 OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5 REFERENCIAL TEÓRICO	19
5.1 GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA	19
5.2 USO DO GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO COMBUSTÍVEL PARA TRANSPORTE MARÍTIMO	20
5.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE EMBARCAÇÕES	22
5.3.1 Motores a Diesel	22
5.3.2 Motores a gás	23
5.4 TECNOLOGIAS DE TANQUES CILÍNDRICOS PARA ARMAZENAGEM DE GNL EM EMBARCAÇÕES MOVIDAS A GÁS	25
5.5 ASPECTOS REGULATÓRIOS DO USO DO GNL NO SETOR MARÍTIMO	28
5.6 O TRANSPORTE FLUVIAL NO ESTADO DO AMAZONAS	30
6 METODOLOGIA	34
6.1 ETAPA PRÉ-PROSPECTIVA	35
6.2 ETAPA PROSPECTIVA	35
6.3 ETAPA PÓS-PROSPECTIVA	39
7 RESULTADOS	41
7.1 EVOLUÇÃO E CENÁRIO DOS DOCUMENTOS LITERÁRIOS SOBRE USO DE GNL EM EMBARCAÇÕES	41
7.2 EVOLUÇÃO E CENÁRIO DE PATENTES SOBRE USO DE GNL EM EMBARCAÇÕES	45
8 DISCUSSÃO	52
8.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO OS TANQUES PARA COMBUSTÍVEL DE GNL	52
8.2 STATUS DAS PATENTES	62
8.3 TAMANHO DO TANQUE	63
8.4 FORMATO DO TANQUE	64
8.5 MATERIAL, POSIÇÃO E DEMAIS CARACTERÍSTICAS DE UM TANQUE	66
9 IMPACTOS	69
10 ENTREGÁVEIS	70
11 CONCLUSÕES	71

12 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	73
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A - SINTAXES E PROCESSO DE AFUNILAMENTO DA PESQUISA NA ETAPA PROSPECTIVA	86
APÊNDICE B - PROCESSO DE AFUNILAMENTO POR SEMELHANÇA	88
APÊNDICE C - MATRIZ SWOT (FOFA).....	89
APÊNDICE D - MODELO DE NEGÓCIO CANVAS	91
APÊNDICE E - RELATÓRIO TÉCNICO-CONCLUSIVO (DOCUMENTO AVULSO).....	91
ANEXO A - ARTIGO ACEITO PARA APRESENTAÇÃO ORAL	92

1 APRESENTAÇÃO

O Gás Natural Liquefeito (GNL) se apresenta como o principal combustível alternativo com a transição energética dos setores-chave da navegação e geração de energia (Kuwahara, 1999; FAPEAM; FAPESP, 2020). A busca por alternativas de produções energéticas que reduzam a agressão ao meio ambiente, bem como o seu transporte na forma liquefeita (denominado Gás Natural Liquefeito) tem expandido a integração entre os mercados consumidores (Pereira, 2020).

O interesse por esta temática surge a partir da experiência da pesquisadora como Desenhista Industrial e Tecnóloga em Construção Naval, atuando há mais uma década em setores navais diversos, dentre eles a Marinha do Brasil com atuação especificamente na Capitania Fluvial da Amazônia Ocidental. Essa trajetória na área naval, oportunizou episteme e aprendizado acerca de Projetos de Embarcação, Vistorias e Inspeções Navais - sempre visando a segurança das embarcações para a garantia dos padrões de segurança e a eficiência operacional destas - dentre outros conhecimentos relacionados à área.

O ingresso em 2020 no Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), oportunizou a participação como bolsista no Programa de Apoio à Pós-Graduação *Stricto sensu* (POSGRAD) – Edição 2021-2022, intitulado Prospecção Tecnológica para a Construção Naval na Amazônia de coordenação da Prof. Dra. Maria Rita Santos da Silva e demandou a esta pesquisadora a entrega de um produto tecnológico à sociedade.

Nesse viés, surgiu ainda a oportunidade de participar, como colaboradora, no Projeto intitulado “Modelagem, Otimização e Simulação de Rede de Distribuição de GNL para a Cadeia Produtiva do Gás Natural na Amazônia Brasileira”, um projeto colaborativo entre Universidade de São Paulo (USP) e UFAM, coordenado respectivamente pelos professores André Bergsten Mendes e Nelson Kuwahara, cujo objetivo geral foi propor uma rede para distribuição de GNL no estado do Amazonas. A equipe da UFAM ficou responsável por desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos, para testar as soluções heurísticas na presença de incertezas (FAPEAM; FAPESP, 2020).

Unindo a experiência no setor e o acesso à ferramentas de prospecção tecnológica e, ainda, considerando o campo favorável do estado do Amazonas que está entre os principais produtores de GNL do país, e tenha o transporte fluvial como o principal modal de escoamento de produtos no estado, buscou-se realizar um estudo prospectivo do estado atual das tecnologias de tanques cilíndricos de armazenagem das embarcações movidas a GNL, com vistas a propor sua aplicabilidade para uso no setor aquaviário do Amazonas.

A estrutura deste trabalho atende ao formato de texto dissertativo do PROFNIT e está dividido em: Apresentação, Introdução, Justificativa, Objetivos, Referencial Teórico, Metodologia, Resultados, Discussão, Impactos, Entregáveis, Conclusão, Perspectivas Futuras, Referências e Apêndices.

2 INTRODUÇÃO

O gás natural tem sido utilizado em vários setores da indústria, no comércio e nas residências, entre outros, por possuir menor índice de poluição atmosférica quando comparado a outros combustíveis fósseis, como o petróleo e carvão mineral, além de possuir também grande rendimento térmico. De acordo com o American Petroleum Institute (2016), o GNL, se forma quando o gás natural é resfriado a cerca de $-162,2^{\circ}\text{C}$, diminuindo em cerca de 600 vezes o seu volume, facilitando seu armazenamento e transporte.

Por sua vez, o transporte marítimo é de suma importância na economia mundial, representando em torno de 80 a 90% do comércio internacional. Ao mesmo tempo o setor naval é responsável por 1,1 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, ou seja, 3% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), e é também responsável por cerca de 2,3 milhões de toneladas de dióxido de enxofre e 3,2 milhões de toneladas de óxidos de nitrogênio por ano, entre outros gases poluentes. Nesse contexto, a Organização Marítima Internacional (IMO) vem adotando medidas rigorosas para minimizar as emissões mundiais provenientes do setor marítimo com metas de redução estipuladas em 50% dos GEE até 2050 (Balcombe *et al.*, 2019).

Devido às grandes emissões de gases tóxicos para a atmosfera, o setor naval necessita de inovação nas suas tecnologias para que os combustíveis aplicados nas embarcações reduzam ao máximo as emissões de gases poluentes, de forma a atender a IMO, órgão criado em 1948, responsável promover a segurança marítima e a prevenção da poluição em nível mundial (Zhang *et al.*, 2017).

O uso do GNL como combustível marítimo em substituição aos combustíveis tradicionais melhora significativamente o desempenho ambiental geral. As emissões de óxidos de enxofre (NOx) são reduzidas em aproximadamente 80 a 85% em comparação ao óleo combustível pesado (HFO) e ao óleo diesel (MDO) reduzindo, assim, as temperaturas de pico na combustão do motor. As emissões de óxido nitroso (SOx) também são reduzidas quase na sua totalidade e também produz pouco material particulado (PM). Tem-se ainda a redução em cerca de 25% nas emissões de CO_2 em comparação ao HFO ou MDO devido ao alto teor de hidrogênio nas moléculas de metano (Burel; Tacanni; Zuliani, 2013; Spoof-Tuomi; Niemi, 2020).

Para o armazenamento de GNL em tanques, são aplicados regulamentos diferentes dependendo da necessidade de cada embarcação. Existem alguns tipos de

tanques no mercado que podem armazenar o GNL de forma segura e dentro das regulamentações exigidas como os tanques de armazenamento atmosférico, já consolidados e regulamentados no mercado. Há também os tanques do tipo esféricos e do tipo bala, que são pressurizados, os quais não podem ser aplicados os mesmos conceitos de contenção dos tanques atmosféricos devido a grandes diferenças de projeto e devem ser aplicadas novas propostas para regulamentar seus níveis de segurança (Rath; Krol, 2013).

Rath e Krol (2013) afirmam ainda que o nível de integridade atribuído aos tanques de armazenamento está condicionado às consequências de um possível vazamento sendo necessário cumprir os requisitos de contenção e normatização definidos o que é necessário se estender aos diferentes tipos de tanques de armazenamento de GNL para maior segurança.

No estado do Amazonas, há uma grande dependência do transporte fluvial para o deslocamento entre cidades e pouca infraestrutura no setor naval. Ainda que o estado esteja entre os maiores produtores de GNL, em diversas embarcações regionais que operam com motor a diesel ou à gasolina. Há casos em que o responsável pela embarcação substitui o tanque de combustível por botijão de cozinha com a alegação de ser uma possibilidade de armazenamento do gás sem contaminantes e a afirmação de que o diesel e a gasolina são adulterados inúmeras vezes causando problemas nos motores à combustão. Porém, esse uso do gás de forma inadequada pode colocar em risco a segurança da navegação e da vida humana (Nogueira; Oliveira Neto, 2021).

Considerando os vários benefícios para o uso do gás natural e tendo em vista que o estado do Amazonas não o utiliza o em suas embarcações como combustível, este estudo vem questionar qual o estado atual de desenvolvimento tecnológico relacionado ao uso de tanques cilíndricos de armazenagem de GNL como componentes para a fonte de energia nas embarcações?

Buscando responder esse questionamento, realizou-se um estudo prospectivo, o qual, segundo Antunes *et al.* (2018), possibilita sistematizar o conhecimento acerca do desenvolvimento científico e tecnológico, oferecendo subsídios para tomadas de decisão, vislumbrando o comportamento de uma tecnologia no/para o mercado competitivo e inovador.

3 JUSTIFICATIVA

3.1 LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC

O transporte fluvial no Amazonas ainda destoa das normas preconizadas pela IMO, quanto a redução das emissões de carbono no meio naval pela metade até 2050 (Carvalho, 2018). As recomendações da IMO em relação a diminuição das emissões de GEE pelos navios em vigor desde 1º de novembro de 2022, por exemplo, estabelecem alterações técnicas e operacionais para a melhoria na eficiência energética dos navios e, na consequente redução das emissões de GEE. A exigência na redução da intensidade de carbono está entre alterações recentemente pontuadas para que possam ser atingidos os níveis estabelecidos nas estratégias Iniciais da IMO (Melo; Oliveira, 2024).

A navegação marítima por sua vez, vem buscando alternativas energéticas menos degradantes para a atmosfera e para o meio ambiente baseadas na necessidade de novas fontes de energia. Assim, vê-se um campo oportuno para a utilização de combustíveis mais limpos, como o GNL por exemplo, no estado do Amazonas apresentando-se como uma alternativa imprescindível para a inserção de uma cadeia produtiva eficaz de gás natural no transporte aquaviário do estado (FAPEAM; FAPESP, 2020).

Nesse sentido, esta pesquisa, por sua relevância econômica e socioambiental, apresenta um tema de considerável interesse aos setores naval e de gás e à cadeia produtiva do gás natural do estado do Amazonas na qual apresenta tecnologias promissoras para que a região possa usufruir da utilização do GNL como combustível.

3.2 ADERÊNCIA AO PROFNIT

Esta investigação está aderente ao PROFNIT, tendo em vista que utiliza-se de ferramentas de prospecção tecnológica, para tratar de um tema de considerável interesse aos setores naval e de gás e à cadeia produtiva do gás natural no estado do Amazonas. Conforme Borschiver (2019), as ferramentas da prospecção favorecem o conhecimento de tendências importantes para os setores da economia e podem auxiliar as organizações na identificação de novas tecnologias proeminentes, também podem ajudar a apontar direções mais confiáveis para as tecnologias, além de poderem ser utilizada para a resolução de problemas complexos a longo prazo dentro

de diversas organizações. Dessa forma, o Produto Tecnológico fruto desta pesquisa busca evidenciar o estado da arte da tecnologia de Cilindros de GNL para uso no setor aquaviário indicando caminhos para o uso do GNL no estado do Amazonas.

3.3 IMPACTO

O Impacto deste estudo será a viabilização de informações estratégicas para apresentação de alternativas tecnológicas visando contribuir com a mudança na matriz energética e no transporte aquaviário no estado do Amazonas. Pois, observa-se que ainda não existe um veículo de informação que trate desta temática no estado, o que torna a elaboração de um Relatório Técnico Conclusivo (RTC) de relevante importância para o cenário amazônico. Nele, podem ser oferecidas informações adequadas sobre o uso de cilindros de armazenamento para uso do GNL como combustível nas embarcações, objetivando a redução das emissões de gases poluentes, a diminuição dos potenciais riscos de derramamento de óleo diesel e gasolina nos corpos d'água da região, diminuição ou supressão dos atos de pirataria em roubo de diesel e gasolina, supressão do garimpo e pesca ilegal, além da melhoria na qualidade de vida da população ribeirinha.

3.4 APLICABILIDADE

O produto derivado deste estudo poderá servir de subsídio para a tomada de decisão pelos agentes que atuam no mercado de transporte de GNL na região Amazônica, antevendo oportunidades tecnológicas que possam ser implementadas nas embarcações.

3.5 INOVAÇÃO

Esta pesquisa apresenta alto teor inovativo, pois pesquisas relacionadas a uso de GNL em embarcações ainda são incipientes no Brasil.

3.6 COMPLEXIDADE

Esta pesquisa apresenta alta complexidade, pois demandou o uso de técnicas prospectivas em bases de patentes, sendo a construção da sintaxe de busca e a análise do resultado da busca, as etapas mais complexas deste processo

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise prospectiva do estado atual do desenvolvimento científico e tecnológico de tanques cilíndricos de armazenagem de GNL para uso como combustível em embarcações, com vistas a propor sua aplicabilidade nos sistemas de fontes de energia das embarcações do Amazonas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discorrer sobre o uso do gás natural como alternativa às fontes energéticas que poluem;
- Discorrer sobre o uso do Gás Natural Liquefeito (GNL) como combustível nas embarcações em geral (benefícios), com ênfase nas tecnologias de tanques cilíndricos de armazenagem de GNL e as normatizações que abrangem a construção das tecnologias relacionadas aos tanques tipo C, estabelecidas pela Organização Marítima Internacional;
- Apresentar o papel do transporte fluvial no estado do Amazonas;
- Elucidar o estado da arte das patentes relacionadas a tanques cilíndricos de armazenagem de GNL das embarcações movidas a gás; e
- Elaborar um Relatório Técnico Conclusivo com as principais informações a respeito das tecnologias de tanques cilíndricos de armazenagem de GNL possíveis para uso do combustível nas embarcações do Amazonas.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

O gás natural tem se apresentado como o combustível fóssil de queima mais limpa que os usuais e vem se destacando na indústria naval como combustível alternativo no combate a poluição atmosférica (Barata, 2018). De acordo com a Khan (2017), o GNL é composto por cerca de 90% de metano e outras misturas dos gases como etano, propano, butano, alguns alcalinos mais pesados e nitrogênio. É transformado em líquido criogênico através do processo de liquefação, o qual é resfriado a uma pressão próxima à pressão atmosférica a aproximadamente $-162,0^{\circ}\text{C}$ o que facilita seu armazenamento e/ou transporte.

No contexto da transição energética e da busca por soluções mais sustentáveis para o planeta, o uso do gás natural como alternativa às fontes energéticas tradicionais, com alto teor de poluição, se apresenta como uma estratégia de grande relevância. Seu uso como energia além de poder ajudar na redução das emissões de poluentes para o meio ambiente também pode ser usado em aplicações na indústria como sucessor da gasolina ou do óleo diesel e como fonte de energia ou matéria-prima no setor de petroquímicos (International Gas Union, 2015; Gomes, 2018; Silva, 2023).

Conforme Balcombe *et al.* (2019), em comparação aos combustíveis fósseis convencionais o GNL representa a melhor opção, sendo economicamente viável, além de oferecer benefícios de impacto ambiental moderado o que pode ser promissor a curto e também a longo prazo caso haja intervenção de incentivos financeiros e opções políticas de menores custos para garantir o cumprimento das metas de redução de emissões estipuladas até 2050.

A eficiência energética está diretamente relacionada a redução das emissões que por sua vez é influenciada fortemente por avanços tecnológicos em geração, armazenamento, distribuição, conversão e consumo de energia. Assim, à medida que novos métodos surgem, novos dispositivos são projetados para armazenar energia de forma eficiente e aprimoramento das tecnologias para êxito no consumo da energia (Iris; Lan, 2019).

5.2 USO DO GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO COMBUSTÍVEL PARA TRANSPORTE MARÍTIMO

O GNL como combustível marítimo é capaz de reduzir significativamente as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em até 20%, óxido de enxofre (SO_x) em até 100%, óxido de nitrogênio (NO_x) até 90% e materiais particulados (PM) até 99% (IGU, 2015). Apresenta alta densidade em relação a outras formas de uso do gás natural, o que o torna uma fonte energética atrativa. Apesar de demandar um volume maior de armazenamento, é muito mais leve que a gasolina, por exemplo, que possui alto teor de poluentes quando comparado o seu conteúdo energético (Gomes, 2018).

As demandas deste insumo como combustível naval têm aumentado na indústria marítima, diversas embarcações transportadoras vêm utilizando o GNL como combustível para gerar sua própria energia, em virtude da necessidade de redução das emissões para os próximos anos (Silva, 2023). Um exemplo disso é o navio da frota Ubuntu Loyalty (Figura 1), da empresa *Anglo American*, com tecnologia sustentável que aportou no Brasil pela primeira vez em 2023 para transportar minério de ferro à China.

FIGURA 1 - Navio movido a GNL.



Fonte: IBRAM (2023).

São navios que além de serem movidos a GNL, possuem tecnologias avançadas de propulsão, como motores bicompostíveis e sistemas de recuperação de calor residual (IBRAM, 2023).

No Brasil, o primeiro navio a funcionar com duplo combustível foi o “Ferry Ivete Sangalo” (Figura 2), construído em alumínio com tecnologia de cilindros de fibra de carbono (Abramo, 2008).

FIGURA 2 - Ferry Ivete Sangalo.



Fonte: Divulgação/Internacional Travessias Salvador.

A combinação mista de 70% de Gás Natural e 30% de óleo diesel, segundo o autor supracitado, permitiu uma redução em 80% na emissão de gás carbônico na atmosfera. O *ferry-boat* em questão foi desenvolvido na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), com apoio da Petrobras e da Bahia Gás, tendo sido investido em torno de 2 milhões de reais no projeto (Abramo, 2008).

O aumento no número de fornecedores de equipamentos e também a produção na liquefação do gás natural fizeram com que surgissem novas rotas de transporte e monetização desse produto, perfazendo-se novas possibilidades em sua comercialização para diversos países e continentes (Silva, 2023). De acordo com Bogaert (2018), são necessários investimentos significativos em novas tecnologias para que navios passem a ser movidos a GNL de maneira econômica e com a infraestrutura adequada de distribuição do GNL em parcelas menores como, por exemplo, para postos de abastecimento, alimentadores e navios de abastecimento.

Ressalta-se também que há ainda outras fontes de energia contrapondo-se à adoção do GNL como combustível marítimo - biocombustível, energia nuclear e hidrogênio. Esses combustíveis apresentam algumas limitações para sua adoção a curto prazo. O biocombustível apresenta limitações de infraestrutura para produções em larga escala de maneira eficiente e existe a preocupação com o seu armazenamento contínuo em navios que apresentam a problemática de corrosão de

suas chapas (Chryssakis *et al.*, 2014). A energia nuclear, segundo Gu e Zhang (2014), é outra alternativa energética não viável devido à exigência de técnicas adicionais muito complexas e é uma fonte que apresenta alto risco para seu uso seguro a bordo das embarcações.

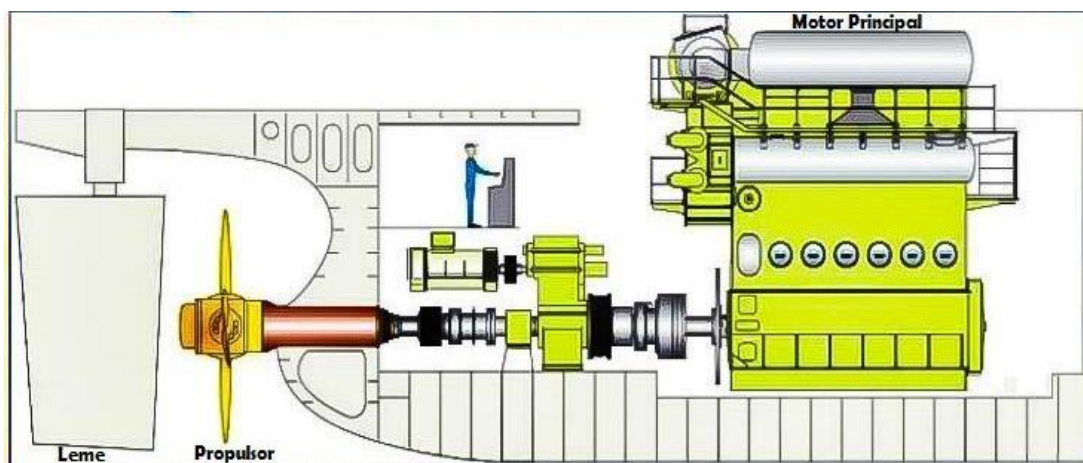
O hidrogênio, segundo Moreira (2019), ainda não tem prontidão tecnológica para ser utilizado em embarcações e o alto preço e a produção são fatores ainda limitantes, sendo assim, o GNL é o combustível que possui maior maturidade tecnológica por conta do crescimento na frota de navios abastecidos com este combustível. Ademais, de todos os combustíveis apresentados e as considerações para o uso promissor destes, o GNL é apontado como a alternativa que se apresenta mais favorável a curto prazo. Segundo dados da DNV-GL (2019), em novembro de 2017 havia sob encomenda 111 navios, tendo sido entregues 114 prontos para uso do GNL, comprovação de que os navios movidos a GNL estão inseridos em um mercado em constante crescimento.

5.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE EMBARCAÇÕES

5.3.1 Motores a Diesel

O sistema de propulsão dos navios mercantes em geral funciona através de motores a diesel, cujo funcionamento necessita de óleos residuais de grande viscosidade para que seja gerada energia mecânica a uma hélice localizada próxima ao leme da embarcação (Figura 3), o qual exerce movimentos de rotação até chegar à potência necessária para a locomoção desta (Carvalho, 2018).

FIGURA 3 - Esquema de um sistema de propulsão de um navio mercante.



Fonte: Baptista *apud* Lopes (2014).

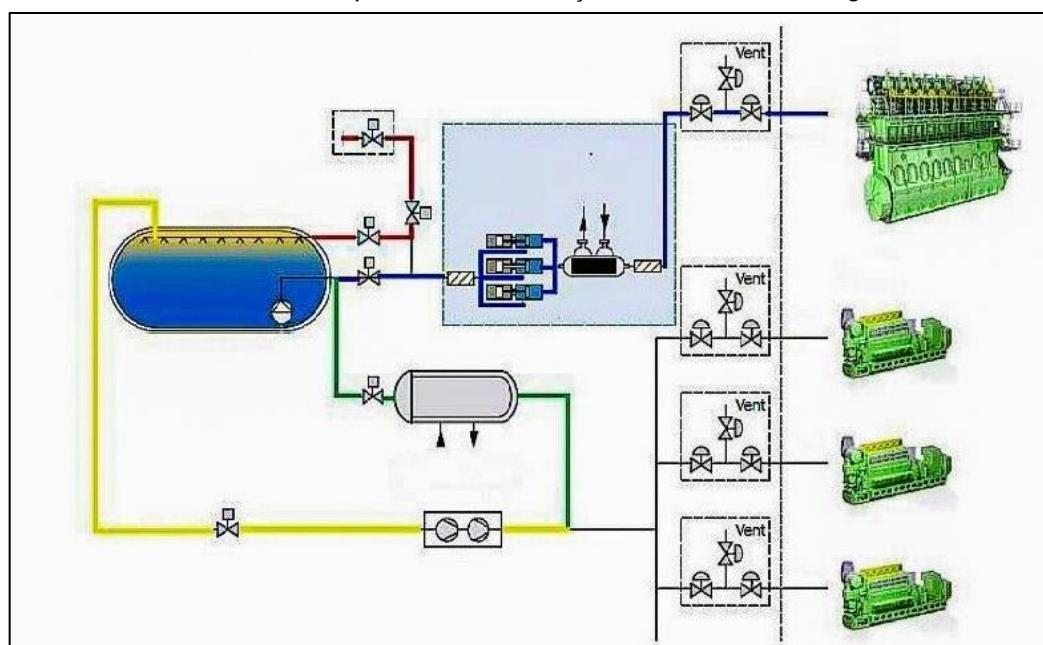
Na maioria das embarcações, segundo o autor, o motor principal funciona em um ciclo de dois tempos no qual o pistão é elevado para a entrada de ar através de fendas na camisa do cilindro e por outro lado há ainda a saída de gases de combustão pela válvula de exaustão. Com isso, há uma explosão, após o combustível ser comprimido e injetado ocorrendo a retração do pistão.

A potência a ser alcançada por cada embarcação dependerá, segundo o autor, de fatores como a capacidade do navio, desenho do casco e projeto dos propulsores instalados, pois estes são responsáveis pela capacidade energética da embarcação juntamente com o motor principal (MCP) do navio.

5.3.2 Motores a gás

Nas embarcações que utilizam o gás como combustível tanto para o funcionamento do motor principal quanto os auxiliares do tipo bicomcombustível, o seu funcionamento ocorre como mostrado na Figura 4.

FIGURA 4 - Esquema de alimentação de navio movido a gás.



Fonte: Carvalho (2018).

Segundo Carvalho (2018), o GNL é bombeado do tanque até uma bomba de alta pressão na qual o GNL passa por um trocador de calor, evaporando-se e tornando-se um gás fortemente pressurizado. Após esse processo, o GNL na forma de gás é injetado no interior do cilindro do motor principal (Linha azul da Figura 4).

Neste processo, os motores auxiliares podem ser alimentados de duas formas: a primeira forma (Linha verde da Figura 4), depois de ser bombeada do tanque, o combustível passa por um evaporador até chegar aos motores na forma de gás a baixa pressão; na segunda forma (Linha amarela da Figura 4), um compressor aproveita o gás de evaporação do interior do tanque e o GNL é comprimido antes de chegar à câmara de combustão do motor auxiliar. Ainda há possibilidade de o GNL ser queimado sem que haja necessidade de ser utilizado como combustível, mostrado em linha vermelha. Isso pode ocorrer em casos em que a pressão se eleve demasiadamente no interior do reservatório, com isso, o gás de evaporação será escoado para uma câmara de combustão.

Em relação aos motores movidos a GNL há basicamente três opções conforme apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1 - Características dos diferentes tipos de motores.

Tipo de motor	Características
Motor a gás com queima pobre de faísca	- Ignição por faísca; - Sensível ao deslizamento de metano que é minimizado pelo design e controle da combustão; - Sensível à qualidade do gás.
Motor bicomcombustível de baixa pressão	- Injeção piloto de combustível a qual resfria a válvula de injeção, mantendo o equipamento na temperatura necessária. (0,5-1%); - Sensível ao deslizamento de metano; limitado para controle de processo; - Flexível: também pode usar Óleo Combustível Marítimo (HFO) ou Diesel Marítimo (MGO); - Sem deslizamento de metano; - Sensível à qualidade do gás.
Motor gás-diesel	- Injeção piloto de combustível (5%); - Flexível: também pode usar Óleo Combustível Marítimo (HFO) ou Diesel Marítimo (MGO); - Sem deslizamento de metano; - Conversão mais simples de motores existentes; - Não é sensível à qualidade do gás.

Fonte: Adaptado pela autora de ABS Global Gas Solutions (2018).

Conforme Motta (2015), os motores a gás com queima pobre de faísca utilizam apenas gás em seu funcionamento que ocorre baseado no ciclo de Otto através da vela de ignição. Dessa forma, o gás é injetado à baixa pressão onde a temperatura de combustão diminuída leva a redução na formação dos NOx. Os motores bicomcombustíveis operam tanto com gás quanto com diesel: quando operado com gás o

motor funciona de acordo com o ciclo Otto o qual é misturado com ar e sua combustão ocorre pela injeção de uma parte de diesel; quando operado com o com o diesel o motor funciona através do ciclo diesel o qual injeta-se o combustível na câmara a alta pressão. Em relação aos motores gás-diesel estes podem ser operados com misturas variadas de gás e diesel ou somente diesel e o funcionamento do motor varia de acordo com o ciclo diesel onde o gás também é injetado a alta pressão.

As embarcações operam usando duas ou mais fontes de energia no intuito de haver melhor distribuição no funcionamento da produção de energia para não sobrecarregar o motor principal. São soluções atuais que o setor naval reconhece como bons potenciais para a utilização de energia, pois além de contribuir para a redução das emissões, o consumo de combustível é otimizado, o que contribui ainda para a manutenção do motor e de sua vida útil. O uso deste sistema possibilita que as embarcações possam melhorar a eficiência e suas potencialidades de carga, além da redução nos custos (Portos [...], 2023).

Aseel *et al.* (2021), no entanto, afirmam que os navios que utilizam apenas o GNL são preferíveis aos sistemas de combustível duplo, pois apresentam rendimento melhor devido à pureza do gás que gera menos emissões em comparação aos navios que utilizam o sistema híbrido.

5.4 TECNOLOGIAS DE TANQUES CILÍNDRICOS PARA ARMAZENAGEM DE GNL EM EMBARCAÇÕES MOVIDAS A GÁS

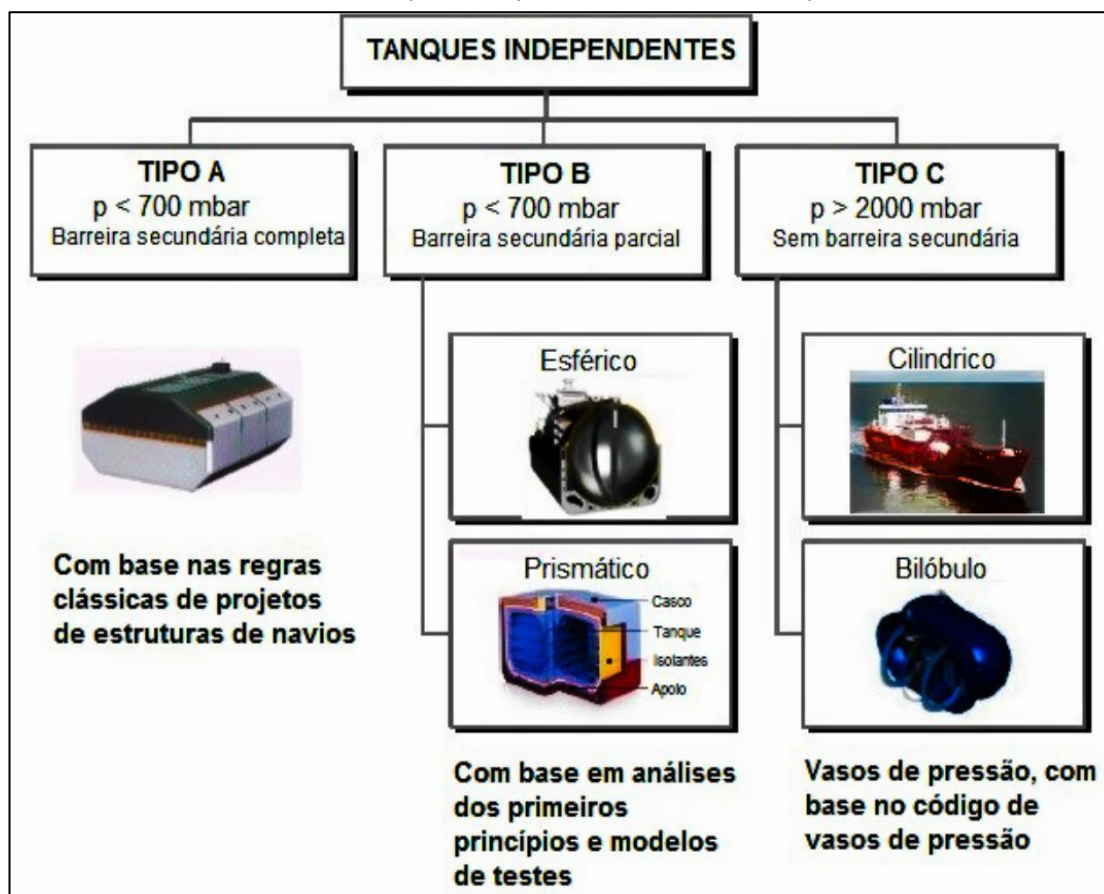
De acordo com Motta (2015), para que um navio abastecido com GNL percorra as mesmas distâncias que os abastecidos com diesel é necessário em torno de 1,5 vezes do volume requerido pelo diesel para a geração da energia mecânica da embarcação. Por sua vez, essa embarcação precisaria ser reabastecida em intervalos de tempo menores ou possuir tanques maiores para atender à necessidade desse volume extra. Também a geração de eletricidade dentro de um navio deverá ser suficiente para atender a funcionalidade dos diversos outros equipamentos ali instalados, como ventilação, refrigeração, sistemas de emergência, dentre outros.

As categorias de embarcações existentes costumam atender à demanda de gás natural em grande escala, como é o caso dos gaseiros, cuja fácil identificação se deve ao convés principal com tanques em formato arredondado, que são adaptados ao transporte da maioria dos gases químicos. Esses navios transportam o gás natural

liquefeito em quatro possíveis formatos de tanques: integrais (que fazem parte da própria estrutura do navio); de membrana (em estruturas de pequena espessura acopladas ao navio, porém isoladas, as quais podem ser contraídas ou expandidas); semi-membrana (construídas com cantos arredondados e sem contato com a estrutura principal do navio); e independentes (aquelas que suportam o peso total da carga) (Barbosa, 2010).

O tanque de armazenamento de GNL tem papel primordial no funcionamento dessas embarcações. O projeto dos tanques de um navio movido a gás tem sua fabricação regulamentada pela IMO através do Código Internacional para a Construção e Equipamentos de Navios Transportadores de Gases Liquefeitos a Granel (código IGC) (Bogaert, 2018). Os tanques independentes das embarcações movidas a gás, segundo a IMO, são de três tipos: A, B e C, que se diferenciam entre si conforme o projeto. Suas características são apresentadas na Figura 5.

FIGURA 5 - Tanques Independentes classificados pela IMO.



Fonte: Adaptado pela autora de <http://liquefiedgascarrier.com/LNG-vessel-construction.html>.

Conforme Bogaert (2018), o Tipo A possui uma barreira secundária completa que fornece resistência à fadiga e aos danos causados pelas sobrecargas. É utilizado

para líquidos transportados a temperaturas acima de -50°C , como propano, butano e amônia. Esse tipo não é adequado para o transporte de GNL a -162°C e é baseado nas regras clássicas de projeto de estrutura de navio.

O tipo B possui uma barreira secundária parcial que fornece resistência aos danos causados por fadiga, principalmente por seu formato de bandeja coletora que oferece um fator de segurança maior contra as sobrecargas. O Tipo B é utilizado para o transporte de GNL em larga escala, em que possui tanques prismáticos, os quais a pressão de projeto é normalmente 0,25 bar acima da pressão atmosférica, e não excede 0,7 bar devido à limitação da espessura do material. Esses tanques são para transportadores de GNL com capacidades de até 182.000 m^3 .

O tanque do Tipo C possui o material que protege contra danos por fadiga e sobrecarga e não é obrigatório que possua uma barreira secundária. São projetados com base no código dos vasos de pressão com cargas estáticas maiores em comparação às cargas dinâmicas.

O tipo C, que é o objeto deste estudo, não pode ser utilizado para transporte de grandes volumes, pois é um tanque de maior peso e precisa compor o espaço no volume do navio. Assim, são utilizados para menores volumes de GNL, devido à alta eficiência térmica. Por ser como um vaso de pressão, suas pressões mínimas de projeto precisam ser de 4 bars. Em algumas ocasiões, chega-se a utilizar tanques tipo C em quantidades maiores com volumes de 9.686 m^3 em 27.500 m^3 para transportar semi refrigerados de GNL Isolados a vácuo.

Segundo Mokhatab *et al.* (2014), os tanques criogênicos cilíndricos representam uma das tecnologias mais avançadas para a armazenagem de GNL, oferecendo soluções seguras e eficientes para o desafio de estocar um produto muito volátil e sensível à temperatura. A escolha do design cilíndrico, em particular, contribui significativamente para a eficiência do armazenamento, permitindo uma distribuição uniforme da pressão interna e reduzindo o risco de vazamentos ou falhas estruturais.

Além disso, o autor afirma ainda que os avanços na tecnologia de tanques criogênicos têm implicações significativas que oferecem contribuições para o meio ambiente, pois se o GNL é armazenado de forma eficaz nos tanques há a facilitação de seu uso como energia mais limpa, contribuindo também para o crescimento da demanda por soluções energéticas menos poluentes.

5.5 ASPECTOS REGULATÓRIOS DO USO DO GNL NO SETOR MARÍTIMO

Considerando a abrangência das demandas do GNL, a IMO, responsável pela segurança do transporte marítimo mundial e pelo combate à poluição no mar, publicou em 2008 a emenda MARPOL 73/78, que preconiza regulamentações referentes à redução das emissões de gases poluentes no setor marítimo estabelecendo a redução do limite dessas emissões em todo o mundo pela metade até o ano de 2050 (IMO, 1973).

Tendo em vista estas determinações normativas urgentes, observa-se que o GNL apresenta características químicas favoráveis: é um combustível com baixa densidade e valor calorífero com volume alto, ainda que necessite de fonte adicional para ser inflamado como combustível em motores de dois ou quatro tempos em função da sua alta temperatura de ignição (540°C) e pela faixa de inflamabilidade bastante restrita (Moreira, 2019).

As propriedades mencionadas são observadas no Quadro 2, no qual apresenta também os limites superiores e inferiores de inflamabilidade de vapor do GNL, que é de 5% e 15% por volume respectivamente, assim, quando a concentração de GNL exceder o limite superior de inflamabilidade não haverá queima devido à quantidade reduzida de oxigênio no combustível. Do mesmo modo, quando a concentração de combustível estiver abaixo do limite inferior de inflamabilidade, o GNL não irá inflamar devido à baixa quantidade de metano presente na sua composição (Moreira, 2019).

QUADRO 2 - Propriedades do GNL.

Propriedades	GNL
Toxicidade	Não
Cancerígeno	Não
Vapor inflamável	Sim
Forma nuvens de vapor	Sim
Asfixiante	Sim
Temperatura fria extrema	Sim
Ponto de inflamação (°C)	-188
Ponto de ebulição (°C)	-160
Faixa de inflamabilidade no ar	LEL = 5,5% e UEL= 14% (a 25°C)
Temperatura de ignição automática (°C)	540
Comportamento se derramado	Evapora formando nuvens parcialmente visíveis
OBS.: O LEL é a concentração mais baixa ou faixa de mistura mínima em que uma explosão pode ocorrer, enquanto o UEL é concentração superior ou faixa máxima. Os gases em quantidades abaixo do LEL não podem explodir devido a suas baixas concentrações (Industrial Scientific, 2024)	

Fonte: Adaptado de Moreira (2019).

A transição para o GNL apresenta ainda alguns desafios técnicos e econômicos relacionados à infraestrutura de abastecimento e armazenamento. Tendo em vista a densidade baixa do GNL, existe pouco perigo a bordo de uma embarcação quando utilizado como combustível, porém este precisa estar armazenado em tanques com equipamentos em condições de manter sua baixa temperatura. Caso isso não ocorra, o gás pode provocar riscos para o pessoal envolvido nas operações a bordo dos navios. O contato direto com o GNL, seja seu vapor ou qualquer parte deste, congelará a pele de imediato, podendo ocorrer queimaduras térmicas graves (Yale Environmental Health & Safety, 2016).

Importante mencionar que uma embarcação movida a GNL como combustível não tem suas operações afetadas nem tem sua velocidade diminuída. Porém, em virtude das complexidades técnicas e operacionais adicionais de seus sistemas quando usado o GNL como combustível, faz-se necessário qualificar adequadamente a tripulação que irá empregar esforços a bordo das embarcações.

Em vista disso, o Código Internacional de Segurança para Navios a Gás da IMO (Código IGF) estabelece a necessidade de realização de treinamentos referente às normas gerais de segurança para abastecimento de combustível com passageiros a bordo ou abastecimento simultâneo durante a transferência de GNL. Porém, esses treinamentos são obrigatórios somente para os tripulantes que operam navios cargueiros com arqueação bruta superior ou igual a 500 e para os navios de passageiros que utilizam combustíveis com baixo ponto de inflamabilidade como o GNL (Moreira, 2019).

No entanto, Moreira (2019) contesta que uma embarcação que utiliza o GNL como combustível não está isenta de riscos mesmo que os requisitos operacionais estejam todos sendo atendidos. Dessa maneira, enfatiza que a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) intenciona tornar o código obrigatório não apenas para as embarcações com mais de 500 AB, mas também para todas as embarcações que utilizam o GNL como combustível. Sendo essa uma maneira de se antecipar acerca dos riscos que envolvem esses navios, sua tripulação e também riscos ao meio ambiente.

Dessa forma, a inovação contínua em materiais e design dos tanques é crucial para melhorar ainda mais a segurança e eficiência do armazenamento de GNL. Bortnowska (2009) destaca que o desenvolvimento de novos materiais compósitos e

técnicas de isolamento térmico tem o potencial de reduzir os custos operacionais e aumentar a viabilidade do GNL como uma alternativa energética globalmente competitiva e salienta que a eficiência do uso do GNL nos sistemas de combustão dependerá do teor de carbono usado no combustível.

5.6 O TRANSPORTE FLUVIAL NO ESTADO DO AMAZONAS

Os rios na Amazônia são de grande importância em decorrência da ausência de outros meios que possibilitem o deslocamento de cargas e de pessoas. Desse modo, o transporte fluvial de passageiros e cargas no estado do Amazonas é realizado por meio de embarcações mistas. O modal fluvial é tradicionalmente utilizado para interligar os municípios mais afastados da capital que é Manaus e promover o intercâmbio de passageiros e cargas em geral como: frutas, hortifrutigranjeiros, bebidas, caixarias, refrigerantes, mudança, automóveis, eletrodomésticos (Cunha; Isper Jr., 2020; Oliveira Neto; Nogueira, 2019).

Uma das peculiaridades do deslocamento fluvial e do transporte misto nesta região é a dinamicidade (variação de carga e passageiros) a cada rota e em cada período específico do ano. Durante o período de vazante (seca), essas embarcações enfrentam grandes problemas de locomoção, visto que, a construção dos grandes sistemas de engenharia nos projetos de integração, não foram executados ou não abarcaram na sua totalidade os municípios, ficando aquém com as necessidades de circulação interna (Oliveira Neto; Nogueira, 2019).

Nos interiores do Amazonas, rios e lagos, muitas vezes, não existem condições naturais ideais para a navegação, seja devido a profundidade, largura e/ou extensão dessas águas, seja pela presença de obstáculos, tais como: desníveis, planície inundável e outros e onde ainda existe a figura do regatão, uma espécie de mascate fluvial que negocia a crédito diversas mercadorias entre as populações estabelecidas nessas regiões, utilizando canoa e remo e/ou barco motorizado para estas ações (Cunha; Isper Jr., 2020). Essa dinâmica coexiste nas diferentes modalidades de embarcações, conforme ilustra a Figura 6.

FIGURA 6 - Tipos de Embarcação da região Norte.



I – Navio Motor



II – Lancha Motor



III – Ferry Boat



IV – Balsas rebocadoras



V – Navio Cargueiro



VI – Rabeta

Fonte: I – (Paradiso Turismo, 2024); II – (Portal A Crítica, 2021); III – (IBarco, 2024); IV – (Sinaval, 2022); V – (Silva, 2024); VI – (Veiga, 2024).

Esses tipos de embarcação segundo (Queiroz, 2019), se caracterizam da seguinte forma:

- I. **Navio/Motor (N/M)** embarcação tradicional também conhecida como “recreio”, cuja principal característica é o transporte intermunicipal misto de passageiros e carga;
- II. **Lancha-motor (L/M)** de passageiros conhecidas como “expressos” (ajato), muito difundida pela rapidez nas grandes distâncias amazônicas, dão prioridade ao transporte de passageiros, porém, levam volumes limitados de carga por um custo mais alto que suas concorrentes;
- III. **Ferry Boat (F/B)**, comparada em desempenho a um N/M, mas tem estrutura e forma diferentes, com o calado menor, similar ao de uma balsa, e também não permite que os passageiros usem redes, apenas camarotes;

- IV. **Balsas rebocadoras**, empurradas por um barco “rebocador”, levam veículos maiores e mercadorias como seixo, material de construção, combustível, madeira etc.;
- V. **Navios cargueiros**, a exemplo dos que operam no Solimões a partir do Terminal de Uso Privativo (TUP) de Coari, levando a produção de hidrocarbonetos da Província Petrolífera de Urucu. Possuem capacidade para transportar veículos que circulam com ou sem contêineres de dentro da embarcação para as estruturas do porto. Trata-se do *roll on-roll-off* amazônico (denominado de Ro-Ro Caboclo), com o transporte de carretas e contêineres em balsas graneleiras e em comboios fluviais; e
- VI. **Pequenas catraias** que ainda são importantíssimas para a comunicação e integração das comunidades mais isoladas e carentes tanto do Solimões quanto de seus diversos afluentes e subafluentes; são canoas com motores de popa tipo rabeta, levam grande parte da produção agrícola de subsistência dos caboclos, base da economia do interior do Amazonas. Os botes de alumínio com motor de popa são denominados “voadeiras”.

As embarcações regionais que transportam passageiros, operam em condições singulares, tais como: baixo poder aquisitivo dessa população e a predisposição as longas distâncias a serem percorridas. Nesse sentido, o serviço que é ofertado predominantemente por empresários que, majoritariamente, possuem apenas uma embarcação, é sustentado pela cobrança da tarifa, cobrança do frete com o transporte de cargas e realização de um comércio ao longo da viagem desde a origem até o destino (Oliveira Neto; Nogueira, 2019).

Por outro lado, o transporte de carga é composto por empresas cuja frota abriga dezenas de embarcações (comboios fluviais, rebocadores), basicamente as viagens são realizadas entre as maiores cidades da região Norte (Manaus-Belém; Manaus-Porto Velho), em cujas rotas o deslocamento das cargas é realizado em balsas, principalmente com o sistema Ro-Ro Caboclo.

Um aspecto importante a ser considerado é que, na vazante dos rios, as embarcações reduzem o volume transportado para evitar encalhamentos, ou realizam a troca da embarcação e o transbordo da carga para outras embarcações com calado inferior, que permitirá assim continuar a navegação pelos rios (Oliveira Neto; Nogueira, 2019). Ainda existem os eventos culturais locais (os festejos), que atraem

centenas de pessoas das cidades e vilas próximas da cidade que o sedia, os quais demandam uma conjunção de rotas de deslocamento entre dezenas de embarcações regionais.

Diante deste panorama, no estado do Amazonas, já houve iniciativas para o uso do gás natural como combustível naval, apostou-se no uso do GNV (bastante utilizado nos veículos do estado) como combustível em uma lancha de travessia entre Tefé e Manaus. A lancha em questão foi construída em Manaus com capacidade para cerca de 50 pessoas, com tecnologia italiana, projetada para operar com dois motores de 225 cilindradas e possibilidade de uso de gasolina e GNV (Bombarco, 2011).

Existe uma grande demanda na região Amazônica de cerca de 1,8 milhão de metros cúbicos diariamente de gás natural, o que faz com que já desponham projetos para escoar este insumo por balsas nos rios Amazônicos. Além disso, a empresa Eneva, que atua na exploração e produção do gás natural e em soluções energéticas, presente no estado do Amazonas avalia desenvolver projetos para transportar Gás Natural Liquefeito (GNL) por meio de balsas flutuantes (Ruddy, 2022). Outros estudos estão sendo discutidos sobre a implementação do gás natural em balsas de modo que os motores que utilizam o diesel passem a utilizar o gás natural vislumbrando vantagens para o transporte aquaviário da região como a redução nos custos do transporte, diminuição da poluição, entre outros benefícios (Amazonas, 2023).

Mesmo em meio a projetos promissores, ainda há desafios a serem vencidos, pois, mesmo que haja inúmeras balsas no estado, Azevedo Junior (2017) afirma que, é preciso vencer outras barreiras para a adoção do GNL como combustível nas embarcações tais quais: os custos altos, as questões legislativas, ambientais e políticas, entre outros fatores.

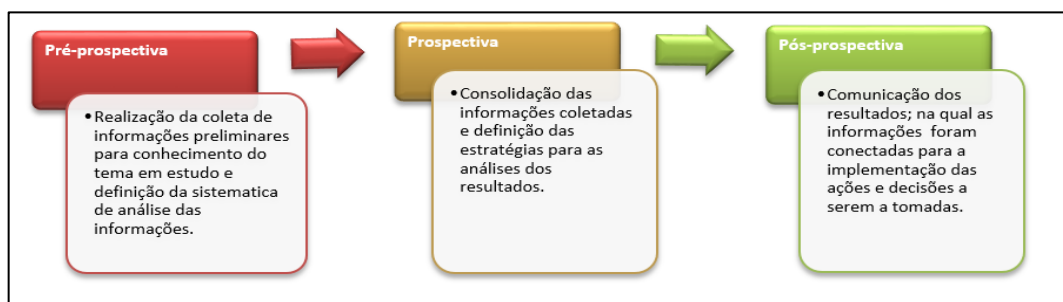
Portanto, para o desenvolvimento de novos projetos que possam utilizar o GNL como combustível ou adaptação de equipamentos de conversão para o gás nas embarcações existentes com potencial de conversão (como balsas, empurradores ou *ferry boats*), é necessário levar em conta todo o contexto apresentado até agora, incluindo as questões logísticas como as longas distâncias geográficas e os inúmeros fatores de navegabilidade nos rios da Amazônia que podem ocorrer quando se empreende uma viagem, tais como: solavancos, banzeiros, abalroamentos, bancos de areia, entre outros.

6 METODOLOGIA

Para elucidar o estado da arte relacionado a tanques cilíndricos de armazenagem de GNL de embarcações movidas a gás, foram empregadas técnicas prospectivas utilizando-se bases de dados de artigos científicos e de patentes, sendo este trabalho caracterizando como bibliográfico quanto aos meios. A pesquisa bibliográfica, conforme Sousa, Oliveira e Alves (2021) consiste em um conjunto de informações e dados que podem ser obtidos através de diversos documentos como, artigos, teses, dissertações, livros publicados entre outros que formam a base teórica da pesquisa. Permite que o pesquisador conheça de forma mais abrangente o assunto a ser estudado através da sistematização do material para a reconstrução de uma dada teoria e aprimoramento de diversos fundamentos teóricos.

Considerando que o objetivo geral desta pesquisa é realizar uma análise prospectiva do estado atual de desenvolvimentos científico e tecnológico dos tanques cilíndricos de armazenagem de GNL como combustível para embarcações, com vistas a propor sua aplicabilidade nos sistemas de fontes de energia das embarcações do Amazonas, esta pesquisa está organizada conforme as etapas de prospecção sugeridas por Borschiver e Lemos (2016), resumidas na Figura 7.

FIGURA 7 - Etapas metodológicas da Prospecção tecnológica.



Fonte: Adaptado de Borschiver e Lemos (2016).

Desse modo, a etapa **pré-prospectiva** desta pesquisa consistiu-se na busca de informações referentes a gás natural, GNL e a tanques cilíndricos de armazenagem de GNL para uso em embarcações movidas a gás. Para estas buscas, foi utilizada a base de documentos científicos *Scopus*. A etapa **prospectiva** deste estudo partiu do conhecimento obtido na fase pré-prospectiva e, em consonância com o primeiro objetivo específico deste trabalho, pretendeu levantar o estado atual de desenvolvimento tecnológico relacionados à cilindros de armazenagem de GNL. Para estas buscas, foi utilizada a base de patentes da *Orbit Intelligence*. A etapa **pós-**

prospectiva procurou comunicar os resultados de forma gráfica e com análises baseadas na literatura.

6.1 ETAPA PRÉ-PROSPECTIVA

Para se familiarizar com o tema, realizou-se consulta de literatura científica buscando responder questões sobre a possibilidade de uso de GNL como combustível em embarcações do Amazonas. Para tanto, utilizou-se a base *Scopus* através do Portal de Periódicos Capes em 2022, e novamente em 2023, utilizando-se de palavras-chave em inglês, conforme as dispostas no Quadro 3 (uma espécie de *thesaurus*) nos campos Resumo, Palavras-chave e Título, utilizando o operador booleano *AND* para termos adicionais e *OR* para alternativos, sem truncadores e sem restrição de período e tipo de publicações.

QUADRO 3 - Palavras –chaves/termos de busca na *Scopus*.

Palavras-chave em português	Palavras-chave em inglês
Gás Natural Liquefeito	"Liquefied Natural Gas"; LNG
Tanque de armazenagem	"Storage Tank"; "Cylinder"
Embarcação	"Vessel"; "Ship"
(Sistema de) propulsão	"Propulsion"; "Power"

Fonte: Elaborado pela autora.

A sintaxe de busca resultante na base (*TITLE-ABS-KEY (liquefied AND natural AND gas) OR TITLE-ABS-KEY (lng) AND TITLE-ABS-KEY (storage AND tank) OR TITLE-ABS-KEY (cylinder) AND TITLE-ABS-KEY (vessel) OR TITLE-ABS-KEY (ship) AND TITLE-ABS-KEY (propulsion) OR TITLE-ABS-KEY (power)*) recuperou 120 (cento e vinte) documentos, os quais precisaram ser tabulados a fim de verificar a coerência com o objeto de estudo. A consulta a algumas destas literaturas possibilitou organizar os termos a serem utilizados na próxima etapa do estudo, tais como o tipo de tanque para embarcações de pequeno e médio porte.

6.2 ETAPA PROSPECTIVA

Nesta etapa, realizou-se uma busca de patentes objetivando identificar as tecnologias recentes no campo de interesse. Utilizou-se a base de patentes *Orbit Intelligence* a qual se constitui em um sistema de busca e análise de informações

contidas em documentos de patentes e que possui acesso a informações de publicações em mais de 90 países com recursos avançados de visualização, exportação e análises de grandes conjuntos de informações (Questel, 2023).

No que se refere ao mapeamento de patentes, Paranhos e Ribeiro (2018), destacam a importância da prospecção tecnológica em bases de patentes para identificar tendências e direcionamentos futuros em áreas específicas de pesquisa e desenvolvimento. Nesta etapa, considerou-se as particularidades do tipo de tanque objeto desta pesquisa.

Segundo Nerheim (2023), o GNL é frequentemente utilizado em sistemas de combustível duplo, em combinação com diesel, por exemplo. No entanto, considerando a necessidade de redução das emissões citadas em capítulos anteriores, os sistemas de gás puro são preferíveis aos sistemas de duplo combustível (Aseel *et al.*, 2021). Portanto, esta pesquisa limitou-se a sistemas que utilizam somente o gás natural.

Outro aspecto a ser considerado é que os sistemas de combustível de GNL baseados em *Boil-Off-Gas* (BOG) são mais relevantes para navios maiores, como os transportadores de GNL (gaseiros). Sobre o BOG, é importante mencionar que é uma ocorrência natural em tanques de GNL a bordo de navios, o que apesar dos tanques possuírem isolamento de alto nível, ocorre algum vazamento de gás, isso porque é impossível evitar a transferência de calor do ambiente para a carga. Este GNL evaporado é chamado de *Boil-Off-Gas* ou gás de ebulição ou ainda BOG e sua taxa de evaporação ou de ebulição é geralmente cerca de 0,10 a 0,15% em volume por dia, dependendo do sistema de isolamento térmico (Panagiotopoulos, 2024).

Esses navios com os sistemas de uso para BOG, segundo Nerheim (2023), representam outro segmento de navio e outro tipo de sistema de combustível que não são relevantes para o tipo de tanque que se pretende estudar. Estes sistemas também foram excluídos deste estudo.

Nesta etapa prospectiva, utilizaram-se vários termos de busca para se entender as inovações relacionadas aos sistemas de armazenagem de GNL usados em embarcações, alguns dos quais semelhantes aos da pesquisa realizada na Scopus. Muitos resultados foram retornados, conforme detalhado no Apêndice A, até que se chegasse às sintaxes mais adequadas ao objeto de estudo desta pesquisa, apresentadas no Quadro 4. Foram consideradas a utilização do termo GNL e suas variações juntamente com o tipo de tanque 'C' regulamentado pela IMO como tanque

independente de configuração cilíndrica. No campo 'Busca Avançada do *Orbit Intelligence* (Questel, 2024) utilizou-se a seguinte equação de busca: *((LIQUEF + NATURAL GAS OR LNG) AND (GAS CYLINDER + OR C-TYPE TANK) NOT BOIL OFF GAS)* como se observa no Quadro 4.

QUADRO 4 - Sintaxes de busca no *Orbit Intelligence*.

Sintaxe de Busca	Campos de Busca	Classe IPC	Classe CPC	Período Temporal	Resultados
Geral = <i>((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) AND (GAS CYLINDER+ OR C-TYPE TANK) NOT BOIL OFF GAS)</i>	<i>TI/AB/CLMS/ DESC/ODES/ ADB</i>			01-01-2013 a 31-12-2023	3.204
Específica = <i>((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) NOT BOIL OFF GAS))</i>	<i>TI/AB/CLMS/ DESC/ODES/ ADB</i>	(F17C 1/00)	(F17C 1/00) – (F02M-021/0221) / (B63B-017/0027) / (63H-021/38) / (F17C) / (Y02T)	01-01-2013 a 31-12-2023	789

Fonte: Elabora pela autora a partir de dados do *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

O período analisado foi de 2013 a 2023 e os campos de busca foram *Title* (TI), *Abstract* (AB), *Description* (DESC), e *Advantages* (ADB). Destaca-se que o operador booleano *NOT* foi utilizado para excluir os documentos de patentes que contivessem o termo *Boil-Off-Gas* (BOG). O booleano *OR* foi utilizado para a localizar as expressões do Gás Natural Liquefeito ou do GNL, assim como também para os cilindros de gás ou tanques do tipo 'C'.

A diferença entre a primeira e a segunda equação de busca no Quadro 4 é o uso da classificação internacional de patentes (CIP). O resultado da primeira equação de busca *((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG)/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB AND ((GAS CYLINDER+ OR C-TYPE TANK) NOT BOIL OFF GAS)/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB))*, que resultou em 3.204 patentes, envolvia outras tecnologias que não os tanques em questão. Foi então realizada uma busca mais específica *((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) NOT BOIL OFF GAS)/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB AND (F17C-001/00)/CPC)* substituindo o termo *tank* pelo código IPC F17C 1/00 relacionado à vasos de pressão como cilindros de gás e tanque de gás, segundo as Classificação Internacional de Patentes (IPC) e

Classificação Cooperativa de Patentes (CPC), resultando em 788 patentes (Quadro 5).

QUADRO 5 - Definições dos códigos IPC e CPC embasados nas buscas desta pesquisa.

Código IPC	Código CPC
F17C = Embarcações que contém ou armazenam gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados; gás de capacidade fixa; enchimento ou descarga de vasos com gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados (armazenamento de fluidos em cavidades ou câmaras naturais ou artificiais na terra B65g 5/00; Construção ou montagem de contêineres de armazenamento a granel empregando técnicas de engenharia civil E04h 7/00; reservatórios de gás de capacidade variável F17B; máquinas, instalações ou sistemas de liquefação ou refrigeração F25.	F17C = Embarcações que contém ou armazenam gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados; gás de capacidade fixa; enchimento ou descarga de vasos com gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados (armazenamento de fluidos em cavidades ou câmaras naturais ou artificiais na terra B65g 5/00; Construção ou montagem de contêineres de armazenamento a granel empregando técnicas de engenharia civil E04h 7/00; reservatórios de gás de capacidade variável F17B; máquinas, instalações ou sistemas de liquefação ou refrigeração F25.
F17C 1/00 = Vasos de pressão, por ex. cilindro de gás, tanque de gás, cartucho substituível (aparelhos pressurizados para outros fins que não o armazenamento, consulte as subclasses relevantes, como A62C, B05B; associados a veículos, consulte a subclasse apropriada das classes B60-B64; vasos de pressão em geral F16J 12/00) [2006.01].	F17C 1/00 = Vasos de pressão, por ex. cilindro de gás, tanque de gás, cartucho substituível (aparelhos pressurizados para outros fins que não o armazenamento, consulte as subclasses relevantes, como A62C, B05B; associados a veículos, consulte a subclasse apropriada das classes B60-B64; vasos de pressão em geral F16J 12/00) [2006.01].
-	B63B-017/0027 = Navios ou outras Embarcações Aquáticas; Equipamento para Transporte (dispositivos de ventilação, aquecimento, resfriamento ou ar condicionado da embarcação B63J 2/00; subestruturas flutuantes como suporte de dragas ou máquinas de deslocamento de solo E02F 9/06).
-	B63H-021/38 = Aparelhos ou métodos especialmente adaptados para utilização em embarcações marítimas, para manusear líquidos de centrais eléctricas ou unidades, por ex. lubrificantes, refrigerantes, combustíveis ou similares ({em motores de popa B63H 20/001;} lubrificar ou resfriar máquinas ou motores em geral F01 - F04)
-	Y02T = Tecnologias de mitigação de mudanças climáticas relacionadas ao transporte.

Fonte: Elaborado pela autora.

Correlacionando os documentos recuperados com a 2ª equação de busca, identificou-se uma patente chinesa intitulada '*Marine liquefied natural gas storage tank*' (Tanque de armazenamento de gás natural liquefeito marítimo), a qual compreende um tanque de armazenamento de gás natural liquefeito marítimo resistente a baixas temperaturas e de baixo custo. A partir desta patente utilizou-se a opção que restringe a busca por similaridade (Restrict to similar patents) pela qual a busca é realizada apenas no conjunto de resultados já selecionados. A escolha por

essa estratégia final se deu devido às dificuldades encontradas nas buscas dessas tecnologias que resultavam diversas patentes sem relação exata com os tanques cilíndricos em questão. O passo a passo desse procedimento está descrito no Apêndice B.

Obteve-se então um resultado de 640 patentes que apresentaram uma relação mais próxima à tecnologia pesquisada. Porém, foi necessário ainda outro refinamento para encontrar patentes que realmente tratassem de tanques cilíndricos de armazenamento de GNL para embarcações movidas a gás. Por isso, restringiu-se a busca selecionando-se as famílias de patentes que mais se aproximavam com o objetivo, o que totalizou 152 resultados, possibilitando enfim uma análise inicial. Porém, para um resultado mais pontual foram selecionadas, dentre este total, as patentes que se tratavam especificamente de tanques para armazenagem de GNL como combustível o que resultou em 40 patentes.

Para que o processo fosse realizado foi necessária a filtragem em diversas etapas, pois muitos resultados das patentes retornadas continham pouca ou nenhuma relação com o objetivo proposto, como por exemplo: ‘Navio transportador de GNL e método para fabricação de navio transportador de GNL’; ‘Dispositivo de suspensão de GNL para tanque de armazenamento de GNL com isolamento’; ‘Sistema de gaseificação de GNL para uso em navios equipados com GNL e método de gaseificação de GNL para uso em navios’; ‘Sistema de regaseificação de gás e navio com regaseificação de gás’; ‘Aparelho de suporte de GNL para tanque duplo de armazenamento de GNL’; ‘Sistema e método abrangente de utilização de gradiente de energia fria para navio de combustível duplo’; ‘Sistema híbrido de descarga de GNL para navio de GNL’; ‘Sistema de abastecimento de navio de GNL e método de controle de pressão da cabine de navio de abastecimento de GNL’, entre outros. Resultados estes que não apresentavam tanques cilíndricos ou vasos de pressão para armazenagem de GNL.

6.3 ETAPA PÓS-PROSPECTIVA

Nesta etapa, os resultados das buscas foram tratados em planilha do *software Excel* que geraram gráficos e tabelas para melhor comunicação das análises. Para a pesquisa científica, utilizou-se o *Bibliometrix*, que carrega dados de diversas bases,

entre elas a *Scopus*. Os dados importados da busca foram organizados por autor, título do documento, afiliação do autor, data de publicação, e termos-chave.

As patentes foram organizadas conforme o número de publicação, título da patente, país de depósito, data de publicação, depositantes/cessionários, resumo, classe IPC, classe CPC, campo técnico, pontuação de relevância, tipo da patente (de invenção ou modelo de utilidade) e domínio tecnológico.

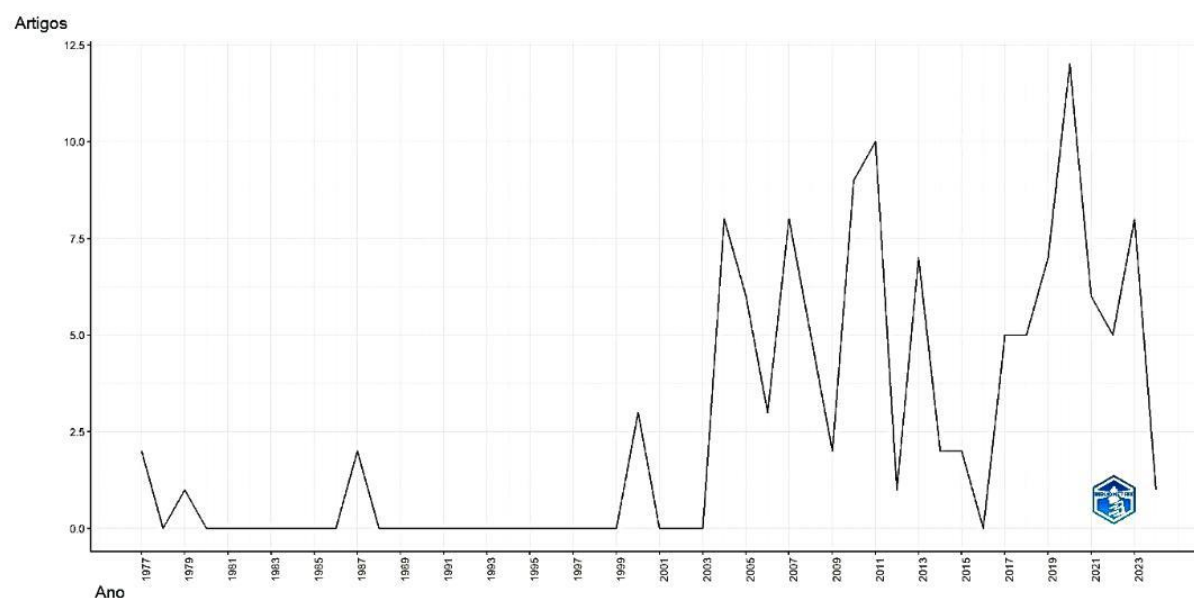
7 RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados das buscas dos dados sobre tanques para armazenagem de GNL de embarcações movidas a gás, interpretar e discutir tais resultados à luz da literatura. Assim, apresenta-se, inicialmente, um breve panorama acerca da evolução de documentos literários em nível mundial. Do mesmo modo, posteriormente, apresenta-se, um panorama da evolução dos depósitos de patentes, identificando o domínio tecnológico, os principais mercados e *players*. Busca-se com esses dados analisar a viabilidade do uso das tecnologias nas embarcações do estado do Amazonas.

7.1 EVOLUÇÃO E CENÁRIO DOS DOCUMENTOS LITERÁRIOS SOBRE USO DE GNL EM EMBARCAÇÕES

No que se refere à evolução da produção científica sobre o tema, observa-se pela Figura 8 que as primeiras publicações datam do final da década de 1970, sendo o início dos anos 2000 o intervalo em que a média de publicações é maior.

FIGURA 8 - Produção Científica Anual.



Fonte: Scopus (2024) e Bibliometrix (2024).

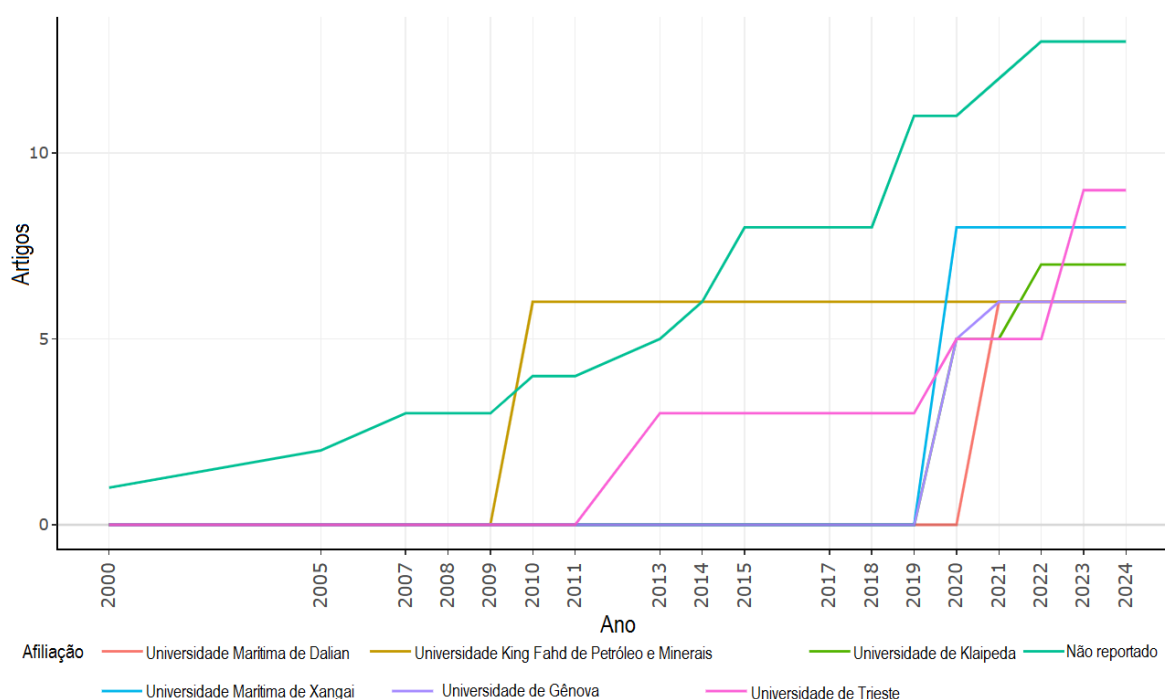
O aumento de interesse por esse tema pode estar relacionado com o início dos debates sobre as questões ambientais. De acordo com Ignacio (2020), no início da década de 1970, achava-se que o meio ambiente era uma fonte inesgotável de

recursos, porém, com a globalização e as ideias de desenvolvimento econômico, as questões ambientais começaram a se fazer importantes de forma gradativa na sociedade. Um dos primeiros estudos científicos a respeito da preservação ambiental foi o relatório “Limites do Crescimento”, elaborado pelo Clube de Roma, um grupo de pessoas notáveis que se reuniam para debater diversos assuntos relacionados à política, meio ambiente, desenvolvimento sustentável, entre outros.

Ainda no ano de 1972, segundo o autor supramencionado, realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, resultando na elaboração da Declaração de Estocolmo, por meio da qual se reconhece, em nível internacional, a importância dos instrumentos de gestão ambiental para a promoção do desenvolvimento sustentável. Outro debate importante foi a Eco-92, a primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Brasil, no Rio de Janeiro, no ano de 1992. Esses debates foram importantes para que os países industrializados começassem a perceber o impacto negativo das suas tecnologias no meio ambiente, dando início às ideias de preservação, algo que atraiu, aos poucos, a atenção mundial.

Em relação às instituições que mais publicaram sobre o tema, tem-se as de origem europeia e asiática, conforme se observa na Figura 9.

FIGURA 9 - Produção por afiliação.

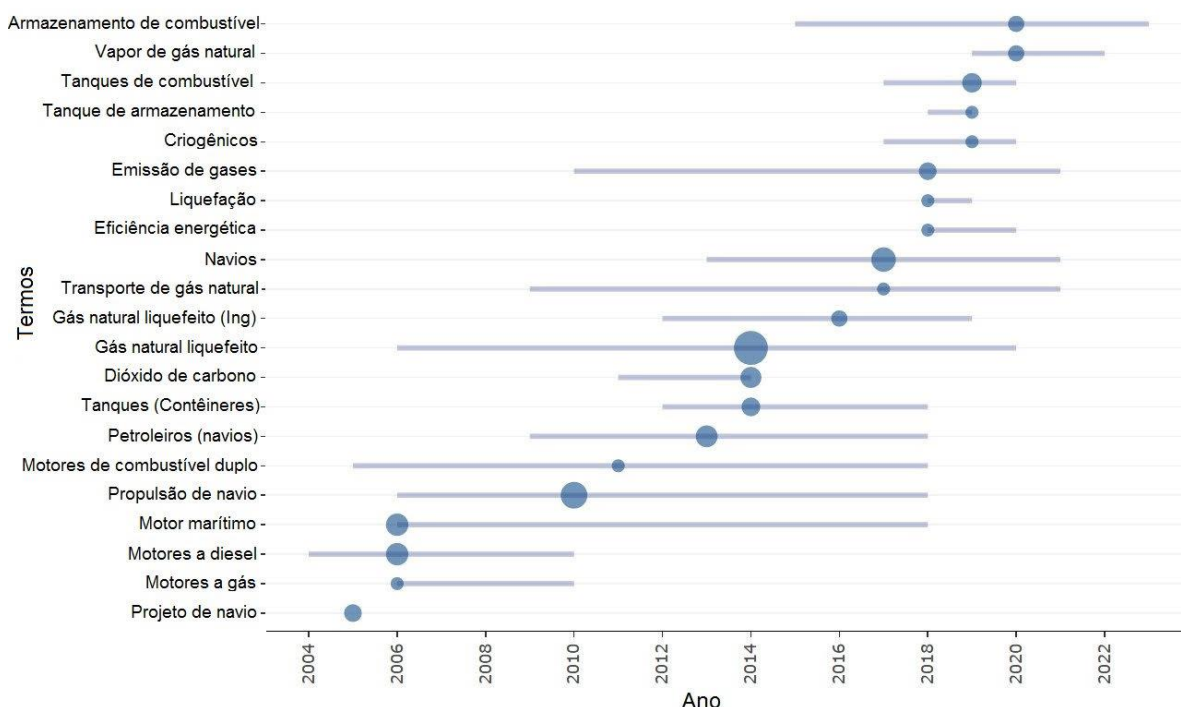


Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados da *Scopus* (2024) e *Bibliometrix* (2024).

Tem-se a Itália como exemplo de país muito dependente do gás natural, pois o país não extraía uma quantidade suficiente de gás natural para satisfazer seu consumo interno. Assim, o país adotou diferentes caminhos para seu abastecimento de forma a tornar a Itália menos dependente dos países fornecedores de GNL. Foi autorizado o projeto no ano de 1988 do "Terminal de GNL do Adriático", para regaseificação de GNL, o qual teve monitoramento do Ministério do Meio Ambiente Italiano que avaliou a compatibilidade ambiental do projeto para verificar possíveis impactos no ambiente marinho associados à construção e operação da estrutura (Lambert *et al.*, 2013).

Quanto à tendência de tópicos ou assuntos relacionados à pesquisa, observa-se que “armazenagem do combustível”, “Vapor de Gás Natural (BOG)” e “tanque de combustível” estão entre os citados nas publicações dos últimos cinco anos, conforme se observa na Figura 10.

FIGURA 10 - Tópicos em tendência.



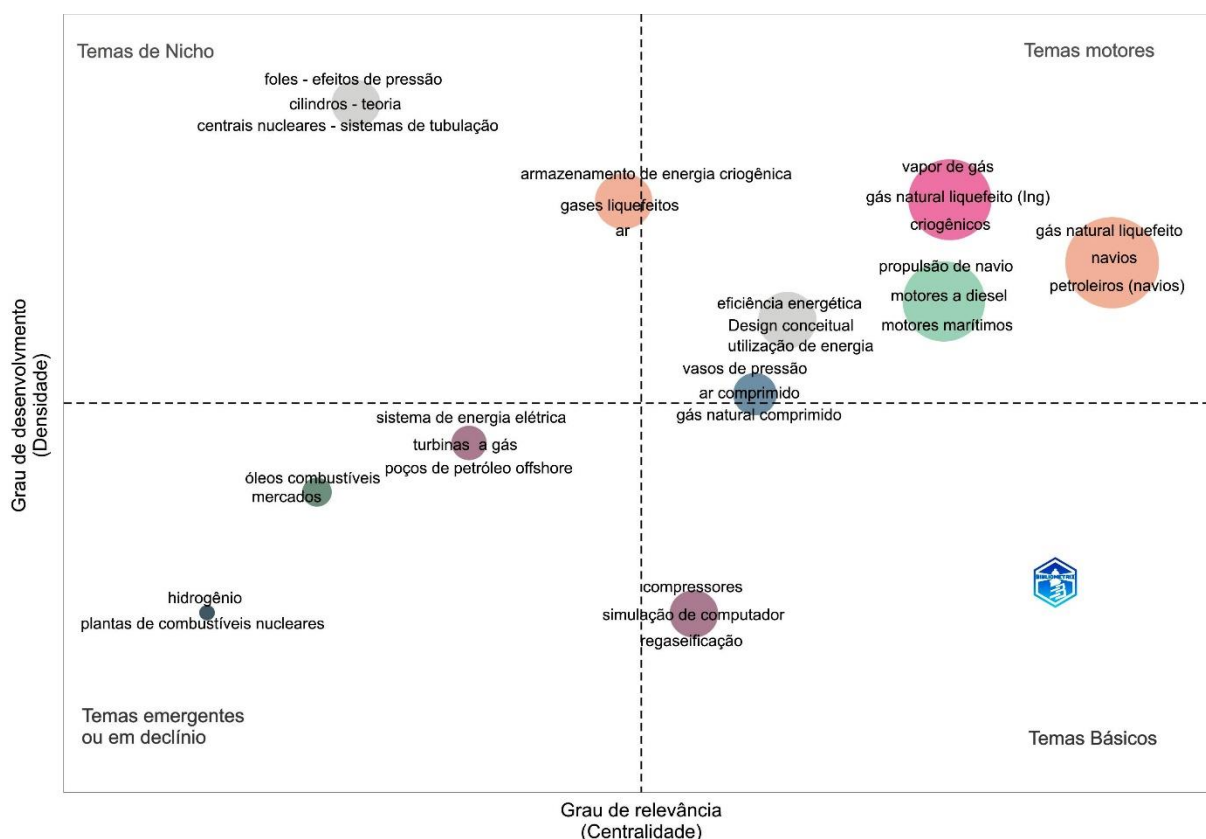
Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados da *Scopus* (2024) e *Bibliometrix* (2024).

Os tópicos em tendência medem o interesse e a relevância de determinado assunto em determinado momento (ALS WEB, [2023?]). São termos ou assuntos que estão sendo amplamente discutidos e compartilhados nas redes sociais e na internet

em um determinado momento. Em relação à densidade e centralidade dos temas: a centralidade indica a importância do tema em todo o campo de pesquisa; a densidade indica o grau de desenvolvimento dos temas; e as bolhas representam o tamanho dos clusters (Barreto; Quintella, 2023).

De acordo com Cobo *et al.* (2011), a centralidade mede a interface de uma rede com outra ao passo que a densidade mensura a robustez da rede, com isso um determinado campo de pesquisa pode ter ambos os tipos de medida visualizado como em um diagrama estratégico em duas dimensões e classificados em quatro categorias. A Figura 11 demonstra a densidade e a centralidade dos temas.

FIGURA 11 - Relação à densidade e centralidade dos temas.



Fonte: Adaptado pela autora de dados da Scopus (2024) e Bibliometrix (2024).

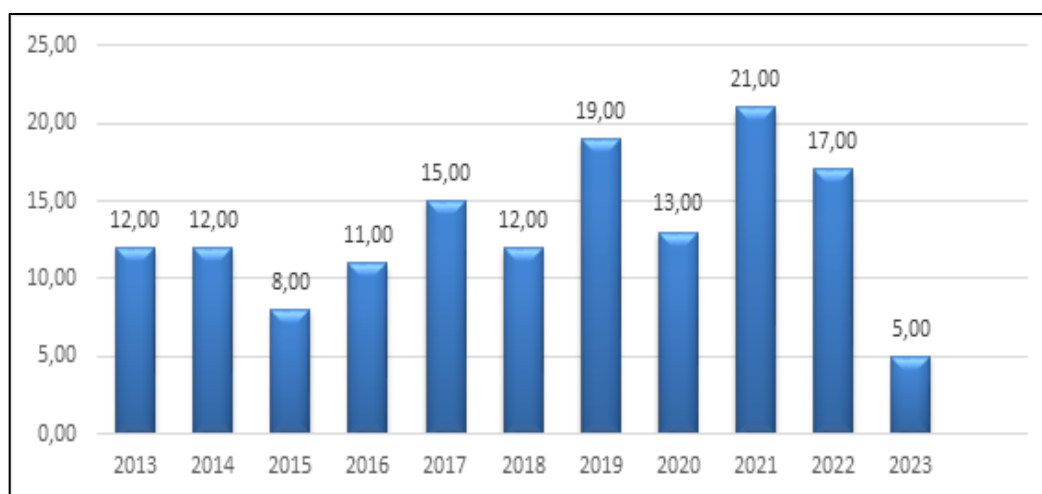
Observa-se alta densidade e alta centralidade (quadrante superior direito) para os temas: gás natural liquefeito, Vapor de gás (BOG), tanques, eficiência energética, propulsão de navio, motores a diesel, vasos de pressão, eficiência energética, gás natural comprimido e criogênico. Os temas posicionados no quadrante superior direito, conhecidos como temas-motores, são relevantes para o desenvolvimento e estruturação do campo de pesquisa (Herrera-Viedma *et al.*, 2020). Observa-se que

pesquisas sobre GNL constam recorrentes nesse quadrante, bem como as relacionadas à propulsão, combustível e tanques.

7.2 EVOLUÇÃO E CENÁRIO DE PATENTES SOBRE USO DE GNL EM EMBARCAÇÕES

Foram examinadas as 152 patentes selecionadas dentre as retornadas na base da *Orbit Intelligence*, para um período de 10 anos, em consonância com a estratégia de busca descrita no Quadro 4. Pela Figura 12, observa-se uma movimentação irregular de depósitos, ou seja, períodos de redução e de aumento de depósitos, sendo 2021, 2019 e 2022 os anos com os maiores depósitos no período selecionado.

FIGURA 12 - Depósito anual de patentes relacionadas a tanques cilindros de armazenagem de GNL como combustível.



Fonte: Adaptado pela autora de dados do *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

Sobre os primeiros anos da série estudada, Araujo (2015), afirma que, com a importância do mercado de liquefação do gás natural, os fatores de viabilização técnica e econômica se tornaram grandes desafios para os demandantes desses setores, o que impactava diretamente na tomada de decisões quanto à adoção das tecnologias de processo, de embarcações, sistemas de armazenamento, entre outros mais viáveis, pois as aplicações necessitavam ser estudadas com cautela, levando-se em conta os indicadores com menor nível de subjetividade possível para a escolha das melhores soluções tecnológicas.

Quanto aos últimos anos da série analisada, a quantidade de depósitos pode estar relacionada à alta de 5,7% anual do uso de GNL no mercado global e os fatores para esse crescimento se devem ao fato de o GNL ser um combustível com flexibilidade de transporte (não existe necessidade de despesas de capital

significativas de ligação geográfica à localização do comprador) e também ao fato de ser uma das tendências atuais de energia alternativa em substituição ao consumo de outros combustíveis, atendendo às regulamentações marítimas rigorosas para a redução das emissões no planeta (Merkulov; Skripnuk; Kulik, 2020).

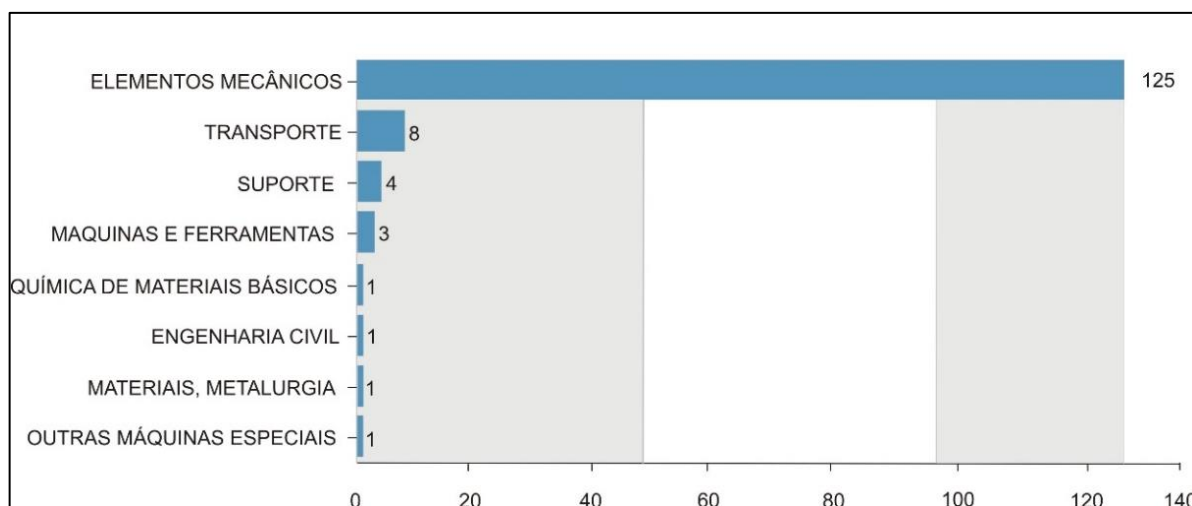
Em 2021, o cenário de conflito entre a Rússia e Ucrânia e ainda a pressão de vários países, entre eles os Estados Unidos da América (EUA), fez com que a Alemanha que é a responsável pelo comissionamento de seu gasoduto, suspendesse seu assentimento, o que fez com que a Rússia reduzisse sua oferta de gás impactando fortemente nos preços do gás nos mercados da Europeus e Asiáticos. Ressaltando-se que a Rússia, que é uma das principais produtoras e exportadoras mundiais de petróleo e gás e supridora de grande parte das demandas da Europa, foi responsável por cerca de 10% das exportações mundiais do petróleo em 2021, e importou para a União Europeia (UE) cerca de 40% (Comerc, 2022).

Ainda em 2021, a produção de gás natural foi reduzida em cerca de 20% com as políticas de transição energética da Europa o que aumentou ainda mais a dependência das importações de GNL da Rússia. Outro ponto crítico, foi a alta nos preços em função do verão europeu que demandou maior geração termelétrica para o aumento da refrigeração, o que acabou reduzindo os estoques que normalmente são repostos no inverno próximo (Comerc, 2022). Ainda corroborando com esses dados, Ajaz (2023), afirma que cerca de 81 Gigawatt (GW) da capacidade traçada pela Ásia precisou ser cancelada em 2022 e 2023.

Ainda assim, os pedidos internacionais de Proteção Industrial se mantiveram com um crescimento positivo em 2022 mesmo diante do cenário perturbador frente à epidemia de COVID-19 nos anos anteriores conforme dados da IEA 50 (2024). Houve a introdução, pelas empresas, de novos produtos em 2021, o que se refletiu nos pedidos de depósitos. Esse crescente aumento nos números mostra que as empresas continuam cada vez mais investindo em tecnologias e inovação.

No que se refere aos domínios tecnológicos das patentes depositadas, a Figura 13 apresenta os domínios com maior representatividade do total de pedidos de patentes.

FIGURA 13 - Domínios de Tecnologia dos pedidos de patentes relacionadas à cilindros de armazenagem de GNL.



Fonte: Adaptado pela autora de dados do *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

Observa-se, que as tecnologias buscadas estão relacionadas aos elementos mecânicos onde estão contidas as 125 patentes das 152 em estudo. Cabe destacar que este é o setor que “abriga” os tanques cilíndricos de armazenamento de GNL das embarcações movidas a gás tidos como vasos de pressão e os acessórios mecânicos diversos para a sua fabricação.

Os vasos de pressão são usados para armazenar substâncias líquidas ou gasosas sob pressão interna ou externa, os quais são regularizados pelo Código ASME que regulamenta a construção desses vasos de pressão e delineia a fabricação, os testes e as certificações exigidas. Essas tecnologias são compostas por uma estrutura com cabeçotes, suportes e acessórios adicionais necessários para a aplicações específicas, e cada componente tem uma composição diferente baseada no uso pretendido (American Alloy Fabricators, 2024).

Dessa forma, os componentes mecânicos são projetados para executar funções específicas de um maquinário, desde o menor parafuso até as peças mais robustas, como motores, sendo elementos imprescindíveis que desempenham papéis específicos no desenvolvimento de máquinas eficientes (Velling, 2021). Infere-se que este é o domínio tecnológico predominante (elementos mecânicos) em função da configuração das tecnologias dos tanques em questão.

Em uma análise espacial dos depósitos de patentes no mundo, a Figura 14 mostra todos os continentes onde as tecnologias foram depositadas, sendo a intensidade das cores usadas para demonstrar os países que possuem maior número de depósitos. Os países na cor azul do gráfico representam os locais de proteção das tecnologias de tanques cilíndricos de armazenagem de GNL. No mesmo gráfico, as

áreas na cor cinza representam os países nos quais não houve depósito algum de patentes.

FIGURA 14 - Países onde as patentes estão depositadas.



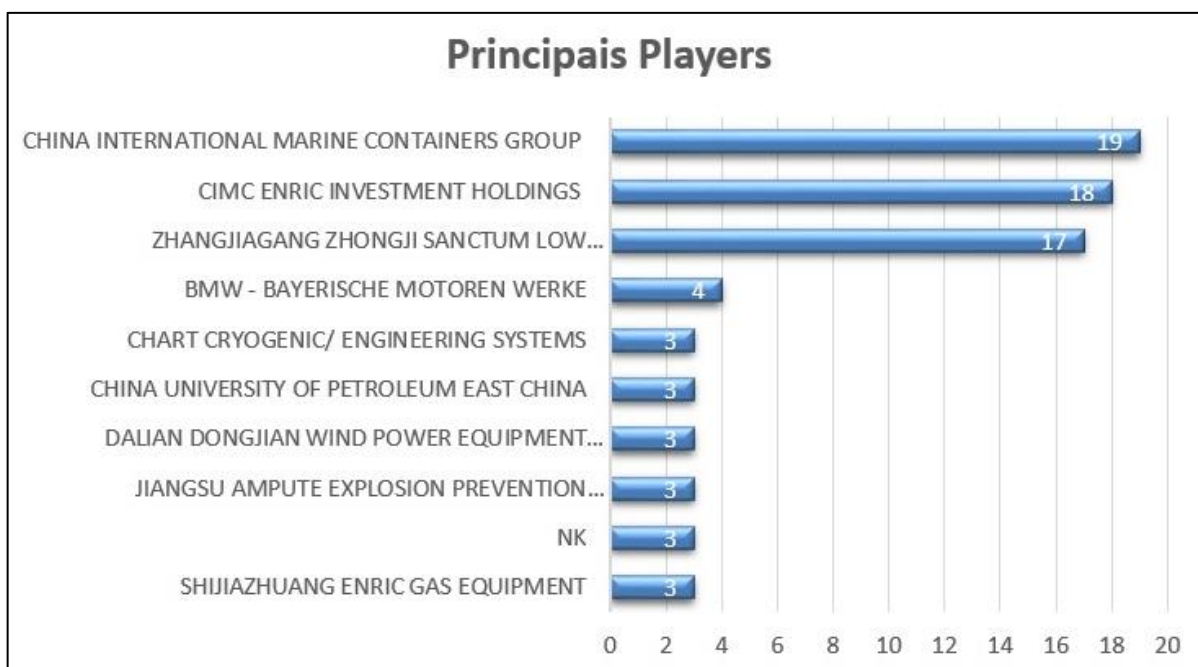
Fonte: Adaptado pela autora de *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

Dessa forma, a China conta com 88 depósitos, a República da Coreia, com 13 depósitos, Alemanha e Estados Unidos, com 7 cada, Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO), com 6, Japão com 5 e Canadá, Índia, Noruega Federação Russa, com 2 depósitos cada. A proeminência da China pode estar atrelada à perspectiva de que, entre os anos 2019 e 2024, o país seria responsável por 40% da expansão global da capacidade de energias renováveis, impulsionada por uma melhor integração do sistema, taxas de redução mais baixas e maior competitividade entre as opções energéticas (IEA 50, 2024).

Consequentemente, o interesse global na redução das emissões na China se concentra no compromisso assumido pelo país em atingir o pico das emissões de dióxido de carbono antes de 2030 e a neutralidade de carbono até 2050. Essas metas visam reduzir a intensidade de carbono da economia do país em pelo menos 65% até 2030. Mais de 40% das emissões de carbono da China foram cobertas pelo mercado nacional de carbono, aumentando o custo real das emissões para as empresas (Environmental Defense Fund, 2022).

Quanto aos dez principais *players* detentores das tecnologias de patentes referentes aos tanques cilíndricos de armazenagem GNL, a Figura 15 apresenta a relação dos depositantes.

FIGURA 15 - Classificação dos 10 principais players das tecnologias relacionadas a cilindros de armazenagem de GNL.



Fonte: Adaptado de *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

A empresa *China International Marine Containers (Grupo) Co., Ltd. (CIMC)* é a primeira na classificação dos principais *players* das tecnologias referentes a cilindros de armazenagem de GNL, trata-se de uma multinacional líder no fornecimento mundial de equipamentos de logística e energia. Com sede em *Shenzhen*, na China, trabalha com diversos equipamentos como contêineres, veículos, energia, equipamentos químicos e alimentícios, *offshore*, além de oferecer os serviços de logística, instalações aeroportuárias etc., e possuir mais de 300 empresas na Ásia, América do Norte, Europa, Austrália e outros, cobrindo mais de 100 países e regiões. A empresa foi fundada em janeiro de 1980 como uma *joint venture* e recebeu investimentos do *China Merchants Group* e *East Asiatic Company*, em *Shenzhen*. Atualmente, a CIMC é uma empresa pública, cujos principais acionistas são *Shenzhen Capital Holdings* e *China Merchants Group* além de possuir apoio do governo chinês (CIMC, 2023).

A segunda empresa classificada é a *CIMC Enric Holdings* Limitada é subordinada ao segmento de energia, engenharia química e equipamentos alimentícios da *China International Marine Containers (Grupo) Ltd.* desde 2007. Possui mais de 10 marcas de produtos e mais de 10 mil funcionários que trabalham em mais de 20 bases de fabricação e centros internacionais de P&D avançados na China, Alemanha, Holanda, Dinamarca e Bélgica. A empresa criou um padrão industrial distribuído de forma racional com apoio mútuo de interação entre a China e

a Europa. Possui uma rede de marketing com larga distribuição em mais de cem países e regiões da Europa, América do Sul, América do Norte, Ásia Central e Sudeste Asiático, incluindo China, Tailândia, Nigéria, Paquistão e Uzbequistão. Lidera globalmente o mercado de transportadores de gás liquefeito de pequeno e médio porte e a cadeia de seus produtos abrange transportadores pressurizados e semi-refrigerados/semi-pressurizados para vários gases liquefeitos, como GLP, etano e GNL, bem como navios de abastecimento de GNL (*CIMC Enric*, 2023).

A empresa *Zhangjiagang Zhongji Sanctum Low Temperature Equipment* também chinesa consta na relação em terceira posição na classificação. Especializada em design, fabricação, vendas e serviço técnico de diversos equipamentos criogênicos, incluindo tanque de armazenamento de líquido criogênico, caminhão-tanque de líquido criogênico, tanque de grande pressão, recipiente de tanque líquido, cilindro de isolamento térmico criogênico, vaporizador e também equipamentos de armazenamento e transporte de produtos químicos perigosos (*Furui Group*, 2023).

As demais posições são ocupadas pelas empresas: *Bayerische Motoren Werke (BMW)* empresa automobilística alemã, fabricante de motocicletas e automóveis de luxo; pela *Chart Cryogenic Engineering Systems (Changzhou) Co., Ltd.*, empresa chinesa que produz, processa e vende tanques de transporte de líquidos criogênicos e outros produtos relacionados; pela *China University of Petroleum-East China (UPC)*, universidade nacional afiliada ao Ministério da Educação do país e base importante de educação de alto grau para a indústria de petróleo e petroquímica; pela *Dalian Dongjian Wind Power Devices Manufacturing Co., Ltd.*, empresa chinesa envolvida em pesquisa e desenvolvimento, fabricação, vendas e serviços técnicos relacionados de equipamentos criogênicos no nordeste da China; pela *Jiangsu Ampute Explosion Prevention Technology Co., Ltd.*, empresa chinesa especializada em pesquisa, desenvolvimento, fabricação e vendas de materiais à prova de explosão, postos de combustível móveis, postos de abastecimento de GNL, entre outros; pela *NK*, empresa da República da Coreia que atua no ramo de desenvolvimentos tecnológicos fabricando mecanismos de fusão de energia renovável, contêineres de armazenamento, e demais desenvolvimentos tecnológicos relacionados a sistemas de transporte; e pela *Shijiazhuang Enric Gas Equipment Co., Ltd.*, empresa especializada em equipamentos de armazenamento e transporte de gás, incluindo vasos de alta pressão e tanques criogênicos, etc.

Observa-se que oito empresas dentre os dez principais *players* são empresas chinesas, o que confirma a liderança da China nos depósitos de tecnologias relacionadas a tanques cilíndricos de GNL como combustível. Os dados mostram que o continente asiático, possui grande potencial para a expansão do gás no continente sendo possível que as empresas deste continente se tornem ainda mais proeminentes nesse mercado.

Ao analisar os resultados das buscas das tecnologias de tanques para armazenagem de GNL foi possível selecionar as patentes com potencial de análise a fim de identificar a aplicabilidade destas nas embarcações do estado do Amazonas. Com isso, dentre as 152 patentes filtradas, foram selecionados especificamente aquelas que tratavam de tanques, ou vasos de pressão, que armazenassem o GNL como combustível. Esse último processo resultou em 40 patentes, as quais foram categorizadas, levando-se em consideração o formato dos tanques, os materiais, a posição de instalação, o status legal dessas tecnologias, suas vantagens tecnológicas, entre outros critérios importantes para aplicabilidade no setor aquaviário do Amazonas, conforme discutido a seguir.

8 DISCUSSÃO

De maneira oposta aos países asiáticos e europeus, observa-se que o Brasil é exíguo em relação ao desenvolvimento de tecnologias de armazenagem de GNL como combustível marítimo, visto que não foram identificados depósitos de patentes relacionadas ao tema no período pesquisado. De acordo com o Centro de Pesquisa para Inovação em Gás Natural (RCGI), os estudos sobre construção de embarcações movidas a GNL no país ainda estão em estágio inicial. Existe um grupo de engenheiros ligados ao RCGI que possui a intenção de projetar navios para o uso do gás natural como combustível por meio, inicialmente, da criação de cenários de uso do GNL na indústria naval, de forma também a contribuir para o desenvolvimento sustentável no país (RCGI, 2017).

O aumento nas expectativas quanto a adoção do GNL como combustível pelo setor marítimo no Brasil vem oportunizando ideias para projetos de navios gaseiros, em especial na região Norte, onde há projetos para a construção de embarcações para atender à demanda de transporte do GNL, por exemplo (Silva, 2023). O autor ressalta que, no Brasil, somente se construiu e importou embarcações para transporte de GLP (residencial) e nunca para transporte de GNL.

Buscando contribuir com essa proposta, apresentar-se a seguir um compilado com as patentes selecionadas sobre tanques, nesse caso devido ao processo complexo de localizar especificamente tanques cilíndricos de armazenagem de GNL para uso marítimo, selecionaram-se 40 patentes dentro da especificação de vasos de pressão com a finalidade de armazenar o GNL como combustível, as quais apresentaram formatos variados que não somente cilíndricos, as aplicabilidades não apenas marítimas, mas para usos automobilísticos, industriais e outros. Destaca-se ainda que, conforme informações contidas nos documentos destas patentes, algumas destas tecnologias podem ser adaptadas para uso marítimo o que poderá subsidiar a adoção do GNL como combustível nas embarcações no estado do Amazonas.

8.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO OS TANQUES PARA COMBUSTÍVEL DE GNL

As tecnologias de grandes tanques de gás combustível de GNL já estão consolidadas nos mercados consumidores em larga escala, porém foram identificadas poucas pesquisas relacionadas a tanques médios ou pequenos, visto que as mesmas estão em estágio inicial de desenvolvimento (Yanhai, 2020). Além disso, segundo os

referidos documentos (patentes), existem altas dificuldades técnicas para a produção em pequena escala, bem como a exigência do nível de segurança que é alto as exigências de fabricação que envolvem diversos processos como soldagem, tratamento térmico, capacidade de pressão, etc.

São estipulados alguns critérios para os tanques armazenarem o GNL, tais como: ser criogênico e ser isolado a vácuo, pode ter camada dupla vertical ou horizontal, possuir geralmente em sua estrutura externa material feito em aço carbono, aço inoxidável, alumínio, entre outros. Também devem possuir uma cavidade de pressão instalada composta de várias camadas de isolamento para manter um alto vácuo. Visto que, o GNL armazenado nesses tanques, por ser um líquido bastante frio quando entra em ebulição sob pressão de armazenamento compara-se ao “refrigerante em ebulição” ou à “água fervente” por funcionarem com temperaturas extremamente baixas. Por isso, é necessário que seus materiais sejam capazes de resistir aos efeitos criogênicos, pois os tanques cilíndricos são considerados os componentes mais adequados para sistemas de armazenamento de GNL (CIMC ENRIC, 2024).

Ressalta-se que, de acordo com a Resolução MSC.370 (93), de maio de 2014, sobre as alterações do Código IGC, os tanques em formato cilíndrico tipo C baseiam-se em critérios de vasos de pressão para os quais são estipuladas normas de pressão mínima de projeto, a espessura do material do tanque, materiais que podem ser utilizados, tais como aços níquel, aços carbono-manganês, aços austeníticos ou ligas de alumínio, além das definições para a instalação e os critérios de segurança que envolvem o uso do cilindro de GNL como combustível em uma embarcação (IMO, 1993).

Considerando que essa pesquisa foi embasada principalmente nos códigos IPC e CPC F17C-001/00, que tratam especificamente de “vasos contendo ou armazenando gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados; armazenadores de gás de capacidade fixa; enchimento ou descarga de vasos com gases comprimidos, liquefeitos ou solidificados”; no código CPC B63B-017/0027, que trata de “tanques para combustível ou similares, acessórios para os mesmos”; na B63H-021/38, que trata especificamente de “aparelhos ou métodos especialmente adaptados para uso em embarcações marítimas, para o manuseio de líquidos da usina ou da unidade, por exemplo, lubrificantes, refrigerantes, combustíveis ou similares; e na Y02T, que trata especificamente de “tecnologias de mitigação de mudanças climáticas relacionadas

ao transporte”, as patentes sobre as tecnologias de tanques cilíndricos, tidas como vasos de pressão, serviram de referência para a compreensão do estado da arte dessas tecnologias. O Quadro 6 resume as características principais (formato dos tanques, os materiais mais utilizados, a posição de instalação, o status legal dessas tecnologias, suas vantagens tecnológicas, entre outros critérios) das patentes de tanques de armazenagem de GNL como combustível. Esta categorização facilita a comparação e a análise e cada patente consta resumida no Relatório Técnico Conclusivo da pesquisa.

QUADRO 6 - Patentes selecionadas com potencial de aplicabilidade para o Setor Aquaviário do Amazonas.

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
1	CN105736932	Concedida	Cilíndrico	Aço comum	Aço inoxidável S30408	Horizontal	Grande	Sim	Espaço para armazenamento (dois); material mais barato	Marítima
2	CN203099305	Caducada	Cilíndrico	Aço inoxidável	Areia perolada	Horizontal	Grande	Sim	Baixo custo de fabricação; perda pequena de gás evaporado;	Marítima
3	CN211203629	Concedida	Cilíndrico	Aço	Espuma de polietileno	Horizontal	Pequeno	não	Regulador de pressão que previne vazamento; Abertura de segurança para a saída de gás	Marítima
4	KR101350802	Caducada	Retangular	Metal ou liga metálica resistente a baixas temperaturas	Fios de material rígido	Horizontal	Pequeno	Não informado	Fios rígidos para reduzir a espessura do tanque; economia de material	Outros tipos de aplicações
5	CN106322101	Revogada	Cilíndrico	Aço de baixa liga Q345R.	Chapa de aço inoxidável austenítico S30408	Horizontal	Pequeno	Não informado	Parede fina, peso leve e grande capacidade de armazenamento; Dispositivo à prova de explosão	Outros tipos de aplicações
6	CN203202585	Caducada	Cilíndrico	Aço inoxidável	Não informado	Horizontal	Pequeno	Não informado	Armazenamento de GNL por mais tempo devido ao dispositivo que evita o vazamento de gás	
7	CN109307146	Caducada	Cilíndrico	Não informado	Não informado	Horizontal	Grande	sim	Sensor de temperatura; tubo de transbordamento monitora o armazenamento.	Marítimo

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
8	CN218409517	Concedida	Cilíndrico	Não informado	Não informado	Pode ser horizontal ou vertical.	Pequeno	Não possui	Montagem em várias posições; pode ser lançado para montagem em outra embarcação	Marítimo
9	CN214369301	Garantida	Cilíndrico	Aço	Não informado	Horizontal	Grande	sim	Forma e estrutura capazes de aumentar a capacidade para suportar a pressão externa	Marítimo
10	CN115773456	Pendente	Cilíndrico	Material metálico	Material metálico e isolamento térmico	Horizontal	Grande	sim	Armazena gás combustível e residual economizando o espaço no tanque	Marítimo
11	CN218510665	Concedida	Cilíndrico	Material metálico	Não informado	Horizontal	Pequeno	Não	Cortina para que a luz do sol não penetre diretamente no tanque reduzindo a diferença entre a temperatura interna e externa	Outros tipos de aplicações
12	EP3740712	Caducada	Cilíndrico	Material metálico	Não informado	Horizontal	Pequeno	Não	Possui bomba imersa no tamanho adequado para conectar o tanque sem inconvenientes	Automóveis
13	CN213712634	Concedida	Cilíndrico	Aço Q235-B, Q245R ou 345R	Areia perolada ou folha de alumínio e algodão	Vertical ou horizontal	Pequeno	Não	Alta resistência a baixas temperaturas e boa durabilidade e roda giroscópica na câmara interna removível	Outros tipos de aplicações

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
14	CN116164223	Pendente	Cilíndrico	Aço	Não informado	Não informado	Não informado	Não informado	Alta eficiência operacional	Marítimo
15	CN113154245	Pendente	Cilíndrico	Aço criogênico	Suporte de plástico reforçado com fibra de vidro	Horizontal	Grande	Sim	Fabricação simples e rápida	Marítimo
16	CN214425662	Concedida	Cilíndrico	Aço	Filme isolante	Horizontal	Grande	Sim	GNL gaseificado internamente; com separador para evitar explosões	Marítimo
17	CN110067932	Concedida	Não informado	Não informado	Não informado	Não informado	Pequeno	Não	Possui dispositivos de acionamento, elevação, partida e parada de forma a controlar o fluxo do GNL	Outros tipos de aplicações
18	CN212029144	Concedida	Cilíndrico	Malha de cobre	Material anti-corrosão	Horizontal	Pequeno	Não	Estrutura simples, estável e seguro para o armazenamento	Outros tipos de aplicações
19	CN215569685	Concedida	Cilíndrico	Não informado	Não informado	Horizontal	Pequeno	Não	Válvula eletromagnética controla o armazenamento fazendo com que o GNL se molde ao tanque com mecanismo de circulação de resfriamento	Veículos autônomos
20	CN217208907	Concedida	Cilíndrico	Aço	Plástico reforçado com fibra de vidro	Horizontal	Pequeno	Não	Isolamento térmico a vácuo para reduzir o vazamento de calor	Outros tipos de aplicações

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
21	CN212226688	Caducada	Prismático ou quadrado	Aço	Não informado	Horizontal	Grande	Sim	Base para a estabilidade do tanque no navio em movimento e boca à prova de explosão	Marítimo
22	EP4295074	Pendente	Cilíndrico	Placas de metal	Liga de alumínio	Horizontal ou vertical	Pequeno, médio ou grande	Sim	Princípio inovador de projeto estrutural celular que permite utilização de material estrutural em um estado ideal de tensão e a criação do tanque em várias configurações.	Marítimo e outras aplicações
23	WO2017/086507	Concedida	Retangular	Aço	Aço	Horizontal	Pequeno médio ou grande	Não	Alta pressão interna mantida; melhoria e eficiência de espaço	Marítimo
24	KR10-2016-0015019	Revogada	Cilíndrico	Grafeno	Grafeno	Horizontal	Grande	Sim	Armazenamento duplo de gás; sem estrutura de conexão entre a parte interna e externa facilitando a fabricação	Marítimo
25	CN212029143	Concedida	Cilíndrico	Aço	Aço	Horizontal	Grande	Sim	Placas para reduzir as vibrações no interior do tanque	Outros tipos de aplicações
26	CN217057122	Concedida	Cilíndrico	Aço	Isolamento a vácuo	Horizontal	Grande	Sim	Redução gradual do GNL através do tubo guia; economia de energia e prolongamento do tempo de armazenamento do GNL	Marítimo

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
27	CN112524473	Concedida	Cilíndrico	Aço	Não informado	Horizontal	Grande	Sim	Estrutura de caixa dupla no tanque que funciona como vedação	Marítimo
28	CN207990187	Concedida	Cilíndrico	Aço	Não informado	Horizontal	Pequeno, médio ou grande.	Sim	Grupo de tanques pode atender volumes entre 200 a 1200 litros de GNL para os navios; fabricação segura e confiável	Marítima
29	CN111174082	Concedida	Cilíndrico	Materiais resistentes a baixas temperaturas	Isolamento a vácuo	Vertical	Pequeno	Sim	Interligação com a caixa fria formando um espaço integral fechado reduzindo o espaço ocupado pelo tanque	Marítima
30	KR10-2018-0060238	Revogada	Cilíndrico – Bi-lóbulo	Aço	Aço com alto teor de manganês.	Horizontal	Pequeno e grande	Sim	Utiliza o espaço do navio com mais eficiência; Evita respingos e mantém a estabilidade mecânica	Marítima
31	CN215636495	Concedida	Cilíndrico	Malha de aço	Malha de aço	Horizontal	Pequeno	Sim	As placas de malha causam a neutralização do GNL no interior do tanque quando há impacto gerado pela agitação do combustível; a absorção de energia é confiável	Veicular
32	CN218544005	Concedida	Cilíndrico	Aço	Bambu grosso e espuma de poliuretano	Vertical	Pequeno	Não	Possui base de suporte e caixa de amortecimento dando maior	Veicular

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
									estabilidade ao tanque	
33	KR10-2019-0054846	Pendente	Cilíndrico	Aço criogênico	MLI (isolamento de filme fino multicamada)	Horizontal	Grande	Sim	Diâmetro reduzido o que reduz os custos de fabricação	Marítima
34	CN214405593	Concedida	Cilíndrico	Aço	A vácuo	Horizontal ou vertical	Médio	Não informado	Possui dois espaços de armazenamento e redução nos custos com combustíveis	Marítima
35	CN213394607	Caducada	Cilíndrico	Aço	Não informado	Horizontal	Médio	Não informado	Reutilização do gás evaporado; evita extravasamento de gás	Veicular
36	CN209262660	Concedida	Quadrado	Aço	Não informado	Horizontal	Médio	Sim	Operação de armazenamento com controle remoto e possui válvula de emergência de baixa temperatura	Marítimo
37	CN116557768	Pendente	Placa Retangular e tanque Cilíndrico	Placas de aço antioscilação	Borracha	Vertical	Pequeno	Não informado	Função microssísmica anti-terremotos e altas vibrações.	Outros tipos de aplicações
38	CN109469817	Concedida	Cilíndrico	Fibra de carbono	Liga de alumínio	Horizontal	Médio	Não informado	Sem juntas de solda; fabricação simples com paredes do tanque fina para redução do peso do tanque	Várias aplicações na indústria
39	KR10-2023-0088004	Pendente	Esférico – Quadri-lóbulos	Metal	Não informado	Horizontal	Não informado	Não informado	Formato assimétrico possui capacidade de armazenar mais GNL	Marítimo

	Nº Patente	Status legal	Formato do tanque	Material Externo do Tanque	Material Isolamento térmico	Posição de instalação	Tamanho dos vasos de pressão	Tubulação para fase gasosa	Vantagem da tecnologia	Aplicação
40	KR10-2192104	Concedida	Esférico com estrutura retangular	Metal tipo treliças	Não informado	Horizontal	Pequeno	não	Processo de soldagem reduzidos para manter alta pressão interna; sistema anti-inclinação para evitar o a agitação do GNL nas viagens	Marítimo

Fonte: Elaborado pela autora, do *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

Após a categorização das 40 patentes relacionadas a tanques cilíndricos para armazenagem de GNL como combustível, discute-se a seguir algumas das suas principais características.

8.2 STATUS DAS PATENTES

A maioria das patentes sobre os tanques selecionados possui o status legal “concedido”, o que significa dizer que estão protegidas nos mercados de interesse. Também há algumas que possuem o status legal “pendente”, o que se entende que são tecnologias com pedidos de depósito recentes e que a inovação referente a elas continua avançando.

Ainda sobre o status legal das patentes, observou-se que algumas estão “caducas” em curto espaço de tempo, como é o caso da patente KR10-1350802, depositada pelo estaleiro *‘Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering’*, situado na Coreia do Sul. Trata-se de um tanque marítimo em formato retangular pequeno com utilização de materiais específicos, como fios rígidos de metal, para a redução da espessura do tanque e economia no processo de fabricação. Não se pode afirmar que essa tecnologia não deu certo no mercado, porém, observa-se que não houve interesse do depositante em mantê-las ativas ou não houve retorno financeiro esperado.

Reitera-se que os constantes depósitos de patentes no continente asiático são resultado das ações na busca de soluções tecnológicas para atendimento as exigências da Organização Marítima Internacional quanto as melhorias climáticas. No Japão, por exemplo, a segunda maior empresa de construção naval do país, a *Japan Marine United*, planeja construir embarcações movidas a GNL em curto prazo, sendo que, a empresa acredita que o GNL seja combustível com boa tecnologia de transição para a total descarbonização da frota existente no país e vem buscando parcerias com a China e a República da Coreia para o alcance desse objetivo, já que são fortes representantes no uso do GNL (Star Marine [...], 2024).

Até 2030, a companhia estima haver mais de 2.000 navios movidos a GNL no Japão e, para esse feito, firmou contrato com uma grande empresa no ramo de máquinas siderúrgicas, a *Steel Plantech*, que opera largamente com a indústria de construção naval (Star Marine [...], 2024). Diante dessa perspectiva, deduz-se que haverá novos depósitos de patentes referentes a tanques de armazenamento de GNL

aumentando ainda mais o domínio do continente asiático no mercado de tais tecnologias.

8.3 TAMANHO DO TANQUE

Quanto ao tamanho do tanque, a proporção de patentes está equilibrada entre tecnologia de tanques grandes e de tanques pequenos para uso do GNL como combustível. Entretanto, parte das tecnologias de tanques pequenos está relacionada à aplicação veicular ou “outras aplicações”.

De acordo com a *Tractebel Engineering S.A.* (2015), uma regra geral para a escolha de um tanque de armazenamento de combustível de GNL é o volume que será armazenado nele. Para pequenos volumes, os tanques isolados a vácuo são a melhor opção por diversos motivos, tais como: curto prazo de entrega, possibilidade de ser construído em oficinas, sistema de fabricação mais simples, menor custo, possibilidade de ser construído de forma modular e sequencial, apresenta melhor comportamento em áreas sismicamente ativas e menor geração de gás de ebulição devido à entrada de calor.

Dentre os tanques de pequeno porte, está o apresentado na patente CN116557768 (Figuras 16 e 17). É um tanque para armazenamento de GNL e possui função de resistência microssísmica. É composto por proteção externa, há molas e demais componentes que envolvem o cilindro de armazenagem de GNL com a vantagem de ser resistente a altas vibrações e a abalos sísmicos, dado que ocorrem muitos abalos sísmicos nos países asiáticos.

FIGURA 16 - Tanque de GNL com função de resistência microssísmica.

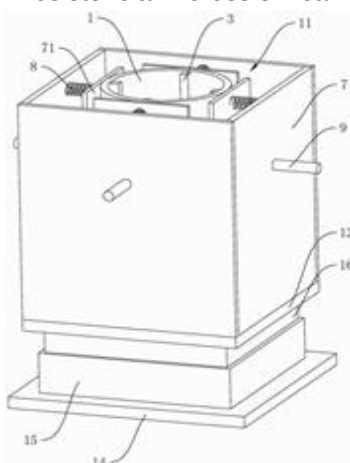
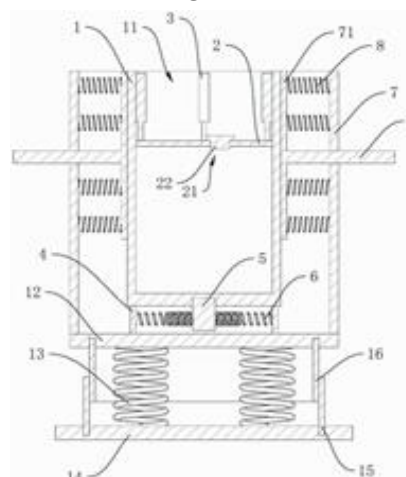


FIGURA 17 - Esquema de molas do tanque de GNL.



Fonte: Orbit Intelligence (Questel, 2024).

Esta patente apresenta informações úteis que podem ser aproveitadas para desenvolver um tanque de armazenamento para aplicabilidade no Amazonas, em razão de ser um tanque de pequeno porte e com custo de fabricação reduzido, projetado com função microssísmica, ou seja, anti-terremotos e anti-altas vibrações. Por ser de pequeno porte, poderia ser aplicado nas lanchas rápidas de passageiros, “os ajatos”, por exemplo, que são embarcações velozes, utilizadas para pequenas ou grandes distâncias, transportando passageiros e pouca quantidade de carga (Queiroz, 2019).

O tanque em questão também poderia trazer uma solução inovadora necessária para o setor quanto à questão dos riscos que envolvem as embarcações durante sua trafegabilidade. Conforme Queiroz (2019), há os bancos de areia submersos, decorrentes do fenômeno das “terras caídas”, que são barrancos que desmoronam nas margens dos rios formando “banzeiros”, podendo ocorrer emborcamento de outras embarcações que passam pelos rios, materiais submersos nas superfícies dos rios, como troncos soltos, que podem causar impactos e se chocar com as embarcações danificando hélices, motor ou o casco da embarcação. Um tanque de GNL contra abalos sísmicos seria uma tecnologia que ajudaria na resolução desses problemas.

A viabilidade da adoção é sustentada pela declaração do presidente do Sindicato da Indústria da Construção Naval, Náutica, *Offshore* e Reparos do Amazonas (Sindnaval), Irani Bertolini, para quem a tecnologia hoje faz parte do cenário atual das embarcações no Amazonas (Portos [...], 2023). Para ele, os estaleiros instalados na região têm crescido e se desenvolvido quanto às suas estruturas e tecnologias. O presidente destaca ainda que existe espaço para as inovações ainda mais importantes, como a utilização de gás natural nas embarcações, afirmando que isso representa menos poluição ambiental e ainda poderia resolver o problema da pirataria nos rios.

8.4 FORMATO DO TANQUE

Verificou-se que a grande preocupação quanto às melhorias de tanques é referente à redução do peso e à forma com que sejam melhor instalados a bordo de uma embarcação, pois os tanques geralmente podem ocupar muito espaço e

aumentar o peso da embarcação. Nesse sentido, identificou-se patentes de tanques com diferentes configurações que não as cilíndricas, como é o caso da patente WO2017/086507, que se refere a um tanque de pressão retangular (Figuras 18 a 21).

FIGURA 18 - Módulo retangular do Tanque de GNL tipo treliça.

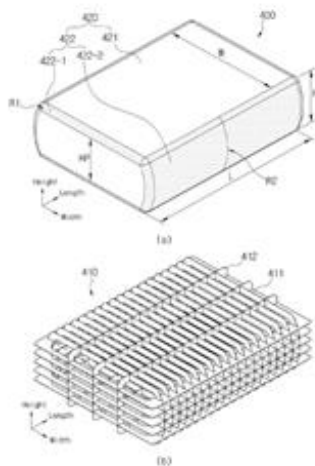


FIGURA 19 - Módulo singular do Tanque de GNL tipo treliça.

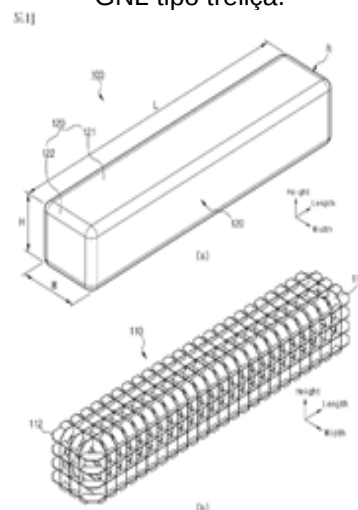


FIGURA 20 - Formato da cavidade interna do Tanque de GNL tipo treliça.

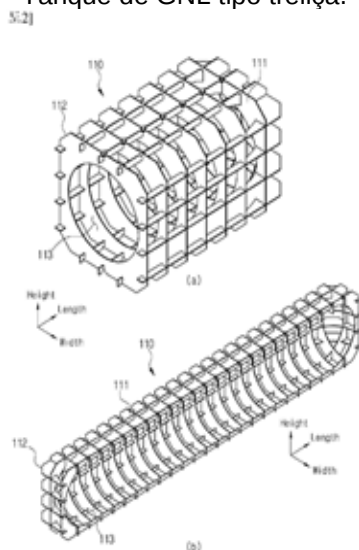
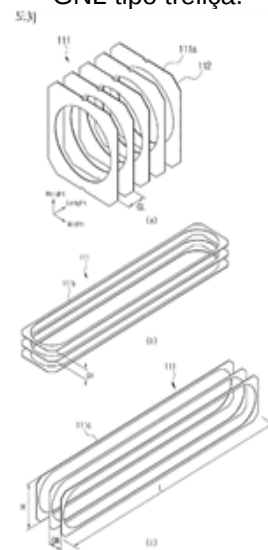


FIGURA 21 - Partes dos módulos do Tanque de GNL tipo treliça.



Fonte: Orbit Intelligence (Questel, 2024).

Esta é uma patente com status “concedida” na República da Coreia, depositada por uma empresa também coreana, a ‘*Lattice Technology*’, uma forte empresa do ramo de vasos de pressão. Essa invenção foi desenvolvida como um reservatório de pressão em formato não cilíndrico do tipo treliça com o objetivo de melhorar as desvantagens quanto ao espaço ocupado por um tanque cilíndrico.

Os tanques do tipo cilíndrico são projetados com complexos cálculos da espessura de cada membro. No caso dos não cilíndricos, não são necessárias as

complexidades dos cálculos. O tanque em questão possui ainda a vantagem de poder ser configurado para vários tamanhos e capacidades de combustível de GNL para embarcação, por meio de estruturas em grades paralelas espaçadas umas das outras em direções contrárias e um espaço oco para o armazenamento de GNL que o torna capaz de manter a pressão interna elevada e melhorar a eficiência na sua instalação.

8.5 MATERIAL, POSIÇÃO E DEMAIS CARACTERÍSTICAS DE UM TANQUE

Outras características relacionadas aos tanques se referem ao material e às posições. Observa-se: uma discreta variação no material externo, sendo a maioria de aço; raras tecnologias propõem posições verticais, das quais a maioria seria para “outros tipos de aplicações”; poucas tecnologias possuem tubulação para a fase gasosa; e dentre as principais vantagens tecnológicas está a capacidade de armazenamento.

Segundo Boylston (2012), existem configurações diferentes de tanques de armazenamento de GNL. Alguns tanques possuem melhores propriedades de isolamento que outros tanques. Afirma, ainda, o autor que as reivindicações do fabricante dessas estruturas de tanques devem ser analisadas cuidadosamente para garantir o consenso entre projetistas fabricantes de tanques para a construção de tanques seguros. O GNL armazenado nos tanques de armazenamento acaba evaporando devido ao aumento da sua temperatura, pois os tanques têm variação considerável na pressão interna em relação à pressão que o tanque pode conter.

Ademais, um sistema de combustível marítimo de GNL, além de ser composto por tanques de armazenamento de GNL, também é composto por uma infinidade de componentes para sua funcionalidade, como os permutadores de calor, tubulações, válvulas. Possuem também os equipamentos de processo para regaseificação e condicionamento do gás que alimentará os motores, espaço de conexão do tanque, caixa fria, entre outros componentes (Nerheim, 2023).

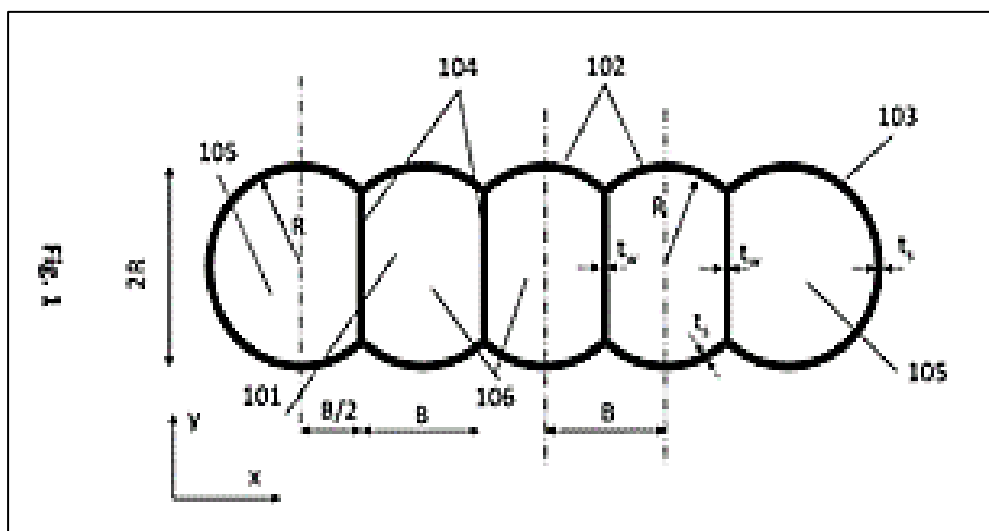
Em relação a patente EP4295074, esta se refere a um projeto de vaso de pressão adequado para a produção de tanques pequenos e médios para armazenamento de gás na forma líquida ou gasosa. De acordo com os documentos esta patente é uma alternativa aos tanques cilíndricos existentes chamados “*Lattice Pressure Vessels*” (LPV) ou “Vasos de Pressão Trelaçados” (VPT), os quais mantêm a pressão equilibrada nas paredes externas do tanque a qual é suportada por uma

“estrutura de treliça” modular interna que conecta a pressão nas paredes externas opostas.

As principais vantagens dessa tecnologia são: os vasos de pressão LPV são totalmente escalonáveis em diversos tamanhos sem exigir maior espessura da parede externa; e a eficiência do espaço, uma vez que o tanque pode ter o formato prismático ou semelhante a uma caixa flexível que pode ser utilizada em qualquer espaço de armazenamento o qual circule o tanque.

Ainda, os LPVs são modulares e possuem grande flexibilidade em termos de formato e tamanho. Normalmente são feitos de placas de metal finas soldadas entre si e adequadas para pressões internas que variam de 2 a 50 bars. O documento dessa patente informa ainda que o GNL deve ser armazenado nesse tipo de tanque isolado a uma temperatura próxima do ponto de condensação para evitar pressões excessivas. São tanques que têm sido muito utilizados como tanques de combustível de GNL em navios e estão em desenvolvimento para serem testados para o armazenamento de hidrogênio líquido. A Figura 22 apresenta o formato do tanque em questão.

FIGURA 22 - Geometria das paredes celulares externas do tanque.



Fonte: *Orbit Intelligence* (Questel, 2024).

Das tecnologias analisadas, depreende-se que são passíveis de aplicação nas embarcações do Amazonas, entretanto, estas embarcações precisam estar em condições para receber uma nova tecnologia, pois a adoção envolve atender a critérios rígidos de segurança. Será preciso atentar para as características da embarcação, o espaço disponível, os equipamentos existentes de armazenamento,

espaços de ventilação, dentre outros critérios importantes estipulados pelo código IGC nas grandes embarcações. Todavia, são critérios que devem ser seguidos em todas embarcações, visto que o GNL se transforma em gás, o que envolve risco para a segurança.

De acordo com Boylston (2012), é importante também compreender sobre os processos de instalação de tanques a bordo de uma embarcação para que não haja incidentes no momento da viagem quando o tanque sofre balanços das águas, em que os respingos de GNL podem danificar a estrutura do tanque e causar corrosão ou comprometer o armazenamento do combustível. Também, e não menos importante, há que se levar em consideração a geografia da região amazônica e todas as possíveis intercorrências durante uma viagem, como os acidentes geográficos que podem ocorrer, pessoal bem treinado, atenção redobrada aos requisitos de segurança a bordo, entre outros.

9 IMPACTOS

O estudo vislumbra resultados positivos para o setor aquaviário do Amazonas no que diz respeito aos impactos ambientais positivos decorrentes do uso do GNL como combustível nas embarcações do estado. A adoção do uso desse combustível é uma tendência do setor marítimo mundial, o qual vem se mobilizando para operar melhorias nas emissões geradas pelos navios em decorrência das exigências da Organização Marítima Internacional, bem como a inovação das tecnologias que vem ocorrendo mantendo-se a competitividade do mercado global.

Nessa perspectiva, esta pesquisa contribuirá para os avanços tecnológicos sobre a possibilidade de uso do GNL como alternativa energética no estado do Amazonas por meio da adoção de tanques cilíndricos de armazenamento GNL para uso como combustível em embarcações, contribuindo para o desenvolvimento de uma rede de distribuição logística de GNL no estado.

Tendo em vista as propriedades químicas do GNL como alternativa energética, observa-se uma convergência viável para a transição de combustíveis no setor de transporte marítimo, como um compromisso crescente de práticas mais sustentáveis. Além disso, a adoção do GNL como combustível no transporte marítimo propicia a comercialização de bens entre diversos países, já que 90% dos produtos comercializados dentro da cadeia logística mundial são transportados por mar, o que constitui aos meios de transportes hidroviários grandes responsabilidades na redução das emissões de gases poluentes dentro do setor de transportes. Em síntese, os resultados do presente trabalho podem servir de referência para decisões dos demandantes do setor aquaviário e demais setores relacionados no processo de formulação de planos estratégicos para potenciais avanços tecnológicos no setor, beneficiando todo o estado.

10 ENTREGÁVEIS

O(s) produto (s) desenvolvido(s) válidos para o PROFNIT ao longo do curso foram:

1. Matriz *SWOT* (FOFA) (Apêndice C);
2. Modelo de Negócio *CANVAS* (Apêndice D);
3. Artigo em coautoria com orientador apresentado no *PROSPECT&I* 2024 (Anexo A);
4. Este texto Dissertativo no formato mínimo do PROFNIT Nacional;
5. Relatório Técnico-Conclusivo sobre as tecnologias de tanques cilíndricos de armazenamento de GNL como combustível para embarcações com vistas a propor sua aplicabilidade no setor aquaviário do estado do Amazonas. Tecnologias estas que foram selecionadas nas pesquisas da plataforma *Orbit Intelligence* e categorizadas descrevendo suas características mais importantes para que pudessem servir como ponto de partida para as inovações no setor aquaviário buscando incentivar a adoção do GNL como combustível mais limpo para o estado (Apêndice E).

11 CONCLUSÕES

Buscou-se com esta pesquisa conhecer o estado da arte da tecnologia de tanques cilíndricos de armazenagem para uso de GNL como combustível em embarcações, vislumbrando uma futura aplicabilidade dessas tecnologias nas embarcações regionais no estado do Amazonas. Com esse intuito, foi realizado levantamento de artigos científicos na base de dados *Scopus* para entender a evolução da produção científica sobre o uso do GNL como combustível no setor marítimo, além de pesquisa em Anuários, Catálogos setoriais e dispositivos legais que elucidaram as indagações propostas nesta pesquisa.

Também foram realizadas buscas de patentes na plataforma *Orbit Intelligence*, apresentando tecnologias relacionadas abrangentes e seus respectivos mercados que servem como ponto de partida para pesquisas mais delimitadas.

As buscas para prospectar tais tecnologias foram bastante complexas, desde a definição dos termos de buscas para se chegar àquelas que mais se aproximasse de tecnologias de tanques cilíndricos de armazenamento de GNL para combustível naval, até a seleção das patentes que pudessem possuir maior possibilidade de aplicabilidade nas embarcações regionais que navegam no estado do Amazonas, considerando as particularidades regionais.

Diante de todo o material acessado e considerando a complexidade das buscas, é possível concluir que não é suficiente apenas identificar as tecnologias existentes e replicá-las para as embarcações regionais por possuírem uma infinidade de componentes em sua conjuntura pois uma das regras primordiais para a aplicabilidade de um tanque de armazenamento de combustível de GNL é o volume que será armazenado nele. Tendo em conta que, para pequenos volumes, os tanques com isolamento a vácuo são as melhores opções por diversas razões entre elas o curto prazo de entrega, poder ser construído em oficinas com fabricação mais simples, menor custo, poder ter construção modular, além de poderem apresentar melhor comportamento em áreas sismicamente ativas e menor geração de gás de ebulição.

Os fatores como configurações diferentes com maquinários e equipamentos diversos, as particularidades dos sistemas propulsivos e as variadas funcionalidades, todos esses fatores devem ser levados em consideração para a escolha dos tanques adequados para aplicabilidade de forma eficaz e segura nas embarcações. Verificou-se que houve uma grande preocupação referente à redução do peso e formato para

melhor instalação dos tanques a bordo de uma embarcação para que se adequem melhor aos espaços.

Compreende-se, portanto, que para a aplicabilidade destas tecnologias nas embarcações do Amazonas os desafios identificados precisam ser vencidos, contudo, é possível como ponto de partida começar pelas patentes aqui estudadas. Assimilando que um tanque maior de armazenamento de GNL marítimo, como o encontrado na patente CN105736932, que possui espaços apropriados para armazenamento de GNL e pode ser utilizado material mais barato para a fabricação seria uma sugestão para aplicabilidade na região. Entendendo, claro, que sua configuração deva ser estudada para adaptabilidade nas balsas em geral por exemplo, considerando já existirem projetos na região Norte, especificamente na cidade de Maguari, no Pará, no qual vislumbram a construção de barcas e empurradores movidos a GNL, sendo estas as primeiras iniciativas de construção de balsas com esse perfil no Brasil.

Ao apresentar o cenário mundial das patentes em tendência, identificou-se que a Ásia e a Europa são os continentes proeminentes nas produções técnicas e científicas, já vez que utilizam em grande escala o gás natural na movimentação de sua economia. A China se destaca nas tecnologias de liquefação do gás natural em virtude da escassez de outras fontes energéticas, devido a ter um ponto forte no uso do carvão para suas termelétricas, que é um insumo altamente poluente.

O país possui liderança global na construção de navios e, para atender às recomendações da Organização Marítima Internacional quanto à redução nas emissões, a China se especializou cada vez mais em tecnologias promissoras de uso do GNL inclusive vem aumentando os projetos para pequena escala, em razão de existir grande demanda pelo gás natural nas localidades mais distantes, sem infraestrutura necessária e alcance fácil a este combustível.

Do exposto e do que foi gerado com a pesquisa em termos de informações fundamentadas, conclui-se que existem tecnologias possíveis de aplicação no setor aquaviário do estado do Amazonas, o que pode ser concretizada da mesma forma com o auxílio de uma rede de distribuição local de GNL e melhor compreensão pelos aquaviários acerca das tecnologia apresentadas, além da aceitação por parte de todos os envolvidos no setor quanto à situação real do impacto negativo que as emissões geradas pelo carbono nas embarcações causam ao meio ambiente.

12 PERSPECTIVAS FUTURAS

A discussão sobre a possibilidade de inserção do gás natural no transporte aquaviário na Amazônia abre caminho para cenários de mudança inovadoras, porém desafiadoras no estado. No Amazonas, o transporte aquaviário é amplamente dependente do diesel e da gasolina devido à infraestrutura e as condições da rede de distribuição já estabelecidas. Essa dependência representa um desafio para a introdução de alternativas energéticas, especialmente em uma região com vasta extensão e logística complexa. A transição para o uso do GNL no setor aquaviário se apresenta como uma oportunidade de inovação tecnológica, com impactos positivos na redução de emissões e na sustentabilidade ambiental. No entanto, essa transformação exige que haja planejamento estratégico para curto, médio e longo prazo para vencer os desafios e consolidar-se uma nova matriz energética.

Curto Prazo: Consolidação de infraestrutura e inserção inicial

Inicialmente, a introdução do GNL no transporte aquaviário pode ser viabilizada em rotas onde o gás natural já está disponível, facilitando a adaptação gradual. Especificamente, frotas que operam entre Itacoatiara e Coari apresentam um cenário favorável para o uso de GNL, considerando a proximidade com as bacias de Silves e Urucu, grandes reservas de gás natural na região. Nesse contexto, o curto prazo contempla:

1. **Desenvolvimento de Terminais de Abastecimento:** A instalação de terminais de abastecimento de GNL em pontos estratégicos nessas rotas permitirá o atendimento das embarcações que transitam entre Itacoatiara e Coari. Esses terminais deverão ser dotados de capacidade para atender à demanda inicial de GNL e assegurar a autonomia necessária às embarcações de pequeno e médio porte que operam nessas localidades.
2. **Adaptabilidade das Frotas Existentes:** A tecnologia de conversão para GNL inicialmente seria focada em embarcações que possam ser readequadas para a nova matriz, reduzindo os custos de adaptação. Essa abordagem permitiria uma experiência operacional mais controlada e permitiria ajustes conforme a necessidade de desempenho e segurança.
3. **Capacitação e Regulamentação:** A introdução do GNL requer capacitação técnica para operação e manutenção das embarcações adaptadas e dos terminais de abastecimento. Paralelamente, é necessária a criação de

regulamentações específicas que incentivem o uso seguro e sustentável do GNL.

Médio Prazo: Expansão para embarcações menores e infraestrutura de apoio

Com a consolidação inicial e um melhor entendimento das demandas logísticas e tecnológicas, o médio prazo envolve o avanço do GNL para embarcações menores e a expansão da rede de abastecimento para atender a novas rotas na Amazônia.

1. Ampliação do Alcance das Estações de Suprimento: Com terminais de abastecimento em funcionamento, é possível expandir a cobertura do GNL para embarcações menores, que passam a ter autonomia para navegar em torno dessas estações. A instalação de estações de suprimento adicionais em áreas-chave aumentará a abrangência da rede, possibilitando que embarcações menores operem em um raio maior.
2. Incentivo à Produção de Embarcações Adaptadas: Além da adaptação de frotas existentes, o incentivo à construção de novas embarcações projetadas para operar com GNL permitirá o desenvolvimento de uma frota aquaviária mais eficiente e alinhada à sustentabilidade energética da região.
3. Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): O avanço do uso de GNL no transporte aquaviário demanda investimentos contínuos em P&D, explorando novas tecnologias que aumentem a eficiência do GNL e a compatibilidade com as condições ambientais da Amazônia, além de possíveis sinergias com outras fontes renováveis.

Longo Prazo: Expansão para longas distâncias e introdução do hidrogênio

No longo prazo, espera-se que a tecnologia de GNL avance ao ponto de ser viável para embarcações de grande porte e longas rotas, como as que realizam a cabotagem e conectam Manaus com os principais portos do Brasil, como Belém e Porto Velho.

1. Expansão para Embarcações Maiores: Com o desenvolvimento e o fortalecimento da infraestrutura de GNL na Amazônia, torna-se possível adaptar o uso desse combustível para embarcações maiores e para rotas de longo alcance, como as operações de cabotagem e de conexão

interestadual. Por exemplo, rotas de Manaus a Belém pode se beneficiar de um terminal de GNL em Barcarena/PA, enquanto as embarcações com destino a Porto Velho podem, eventualmente, utilizar um terminal em Rondônia, suprido pela bacia de Silves.

2. Integração com Portos Nacionais: Embarcações que conectam Manaus aos principais portos nacionais podem, a longo prazo, aproveitar uma infraestrutura de abastecimento nacional de GNL. Esta abordagem expandiria o uso de GNL para rotas mais extensas e integraria a Amazônia ao sistema de transporte aquaviário sustentável em todo o Brasil.
3. Transição para o Hidrogênio: A infraestrutura estabelecida para o GNL poderá, futuramente, ser utilizada para distribuição de hidrogênio. Esse processo poderia envolver a produção de hidrogênio a partir de fontes locais, como a reforma de derivados de petróleo e gás da própria região e de hidrogênio verde, proveniente das usinas hidrelétricas e parques fotovoltaicos disponíveis. Essa transição representa um passo importante para um transporte aquaviário de baixíssimo impacto ambiental na Amazônia, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e de descarbonização a longo prazo.

Dessa forma, a adaptação tecnológica para a introdução de sistemas de armazenagem de GNL em embarcações regionais amazônicas representa uma iniciativa de grande impacto ambiental e econômico, mas que exige um esforço significativo em pesquisa, desenvolvimento e inovação. A maioria das embarcações utilizadas atualmente está totalmente adaptada ao armazenamento de diesel e gasolina, o que significa que a transição para o uso de cilindros de GNL envolve não apenas modificações nos sistemas de armazenagem e propulsão, mas também uma revisão estrutural e técnica de cada modelo de embarcação.

Essas adaptações demandam estudos detalhados sobre a viabilidade e segurança do GNL como fonte de energia para embarcações fluviais. Será necessário avaliar aspectos como a resistência dos materiais e componentes que constituirão os novos cilindros de armazenamento, especialmente considerando as condições climáticas e hídricas da Amazônia, como temperaturas elevadas, alta umidade e contato frequente com água doce e sedimentos. Outro ponto crítico é a estabilidade das embarcações com os novos sistemas de armazenagem, uma vez que o GNL

possui características físicas e de densidade diferentes do diesel e da gasolina, impactando a distribuição de peso e o centro de gravidade das embarcações.

Além disso, é indispensável um alinhamento com as instâncias reguladoras e fiscalizadoras, incluindo o Inmetro, a Marinha do Brasil e a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Essas instituições terão um papel fundamental na criação de normas e diretrizes que garantam a segurança e a sustentabilidade do uso de GNL na navegação regional. A construção de normativas específicas, como padrões para os cilindros de GNL, regulamentos de segurança para manuseio e transporte do combustível, além de protocolos de manutenção e inspeção das embarcações adaptadas, são passos essenciais para o avanço dessa iniciativa. Esses regulamentos deverão ser robustos e atualizados regularmente, com base nas inovações e descobertas tecnológicas que o próprio processo de adaptação trará.

A viabilização desse projeto também envolve o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento de GNL eficiente e segura, que suporte o abastecimento regular e economicamente viável das embarcações na Amazônia. Esse processo demandará colaborações entre o setor público, empresas de transporte e fornecedoras de gás, além de possíveis incentivos governamentais para mitigar os custos iniciais da transição energética.

Portanto, a adaptação dos sistemas de armazenagem de GNL nas embarcações fluviais da Amazônia é um processo que, embora desafiador, representa uma oportunidade única para impulsionar a sustentabilidade na região. Espera-se que a difusão desta dissertação desperte para a necessidade de uso do GNL não somente no Amazonas, mas em outras regiões necessitadas, o que com o esforço coordenado entre inovação tecnológica, regulamentação e parcerias estratégicas, é possível que essa transição contribua para uma matriz energética mais limpa, eficiente e integrada com as necessidades ambientais e socioeconômicas da Amazônia.

Dessa forma, vislumbra-se que trabalhos futuros possam aprofundar sobre o tema e que os institutos tecnológicos que dominam os estudos sobre o GNL possam considerar a viabilidade de mudanças para o mercado de pequenas e médias embarcações. Como a inovação é um processo contínuo, espera-se que o GNL se mantenha como uma solução atual, porém, almeja-se novas soluções tecnológicas limpas, acessíveis, renováveis e, principalmente, confiáveis.

REFERÊNCIAS

ABRAMO, V. Ferry Boat Ivete Sangalo chega ao Rio para apresentação à Indústria Naval. **Portal Naval**, Seção Notícias, Rio de Janeiro, 07 ago. 2008. Seção Travessia Marítima. Disponível em: <https://portalnaval.com.br/noticia/ferry-boat-ivete-sangalo-chega-ao-rio-para-apresentacao-a-industria-naval/#:~:text=O%20Ferry%20Ivete%20Sangalo%20%C3%A9,se%20comparado%20aos%20navios%20tradicionais>. Acesso em: 31 maio 2024.

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. LNG bunkering: Technical and operational advisory. **LNG Bunkering**, v. 1, p. 58, 2018. Disponível em: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/ABS_LNG_Bunkering_Advisory.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

AJAZ, W. Proposed expansion of gas power in Asia poses climate, economic risks. **Global Energy Monitor**, Reports & Briefings, may. 2023. Disponível em: <https://globalenergymonitor.org/report/proposed-expansion-of-gas-power-in-asia-poses-climate-economic-risks/>. Acesso em: 31 maio 2024.

ALS WEB. **O que é: Trending Topics (Tópicos em Tendência)**. [2023?]. Disponível em: <https://alsweb.com.br/glossario/o-que-e-trending-topics-topicos-em-tendencia/>. Acesso em: 02 abr. 2024.

AMAZONAS. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação. Sedecti destaca avanço para o transporte hidroviário em estudo sobre uso do gás natural em balsas. **Portal SEDECT**, Seção Notícias, Manaus, 20 jul. 2023 [on-line]. Disponível em: <https://www.sedecti.am.gov.br/sedecti-apoia-projeto-que-foca-no-uso-de-combustiveis-mais-limpos-em-ferry-boats/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

AMERICAN ALLOY FABRICATORS. **Stainless Steel Pressure Vessels**. Norristown, PA, [2024?]. Disponível em: <https://americanalloyfab.com/pressure-vessels/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Liquefied Natural Gas: Exports - America's Opportunity and Advantage**. Washington DC, USA, nov. 2016. Disponível em: <https://www.api.org/~media/files/policy/lng-exports/lng-primer/liquefied-natural-gas-exports-highres.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ANTUNES, A. M. S.; PARREIRAS, V. M. A.; QUINTELA, C. M.; RIBEIRO, N. M. Métodos de prospecção tecnológica, inteligência competitiva e Foresight: principais conceitos e técnicas. *In*: RIBEIRO, Núbia Moura. **Prospecção tecnológica**. Salvador: Profnit, 2018. Cap. 1. p. 19-108. Disponível em: <https://www.api.org/~media/files/policy/lng-exports/lng-primer/liquefied-natural-gas-exports-highres.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ARAUJO, P. A. R. M. C. **Estudos sobre o desenvolvimento de liquefação embarcada de GNL (floating liquefied natural gas - FLNG) para campos gigantes de produção de gás (libra) do pré-sal**. 20 f. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.puc->

rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2015/relatorios_pdf/ctc/MEC/MEC-Pedro%20Araujo.pdf#page=18.69. Acesso em: 19 jun. 2024.

ASEEL, S. *et al.*, A model for estimating the carbon footprint of maritime transportation of Liquefied Natural Gas under uncertainty. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 1602-1613, apr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.002>. Acesso em: 19 jun. 2024.

AZEVEDO JR., P. C. **Rede logística de gás natural para abastecimento de embarcações na Amazônia brasileira**. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Manaus, 2017.

BALCOMBE, P. *et al.* How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], p. 72-88, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BARATA, R. M. M., **Gás Natural Liquefeito – GNL/LNG: um combustível alternativo no transporte marítimo**. 2018. 138 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Portuária)- Escola Náutica Infante Dom Henrique, ENIDH, Paço d'Arcos, PT, 2018. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/41001>. Acesso em: 24 jun. 2024.

BARBOSA, B. Navios gaseiros. **Jornal Pelicano**. Rio de Janeiro, 19 fev. 2010. Disponível em: <http://www.projetomemoria.org/2010/02/navios>. Acesso em: 12 maio 2022.

BARRETO, W. A.; QUINTELLA, C. M., Transporte Hidroviário: uma análise de Revisão Sistemática Patentária e de Literatura (RSL) sobre os impactos da Internet das Coisas no contexto das cidades inteligentes pós-ODS 11. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 16, n. 6, p. 1863-1878, out./dez. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/52127>. Acesso em: 24 jun. 2024.

BOGAERT, H. **An experimental investigation of sloshing impact physics in membrane LNG tanks on floating structures**. 2018. 275 f. Tese (Doutorado)- Delft University of Technology, Países Baixos, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4233/uuid:96870b88-e07b-4ec2-8bd4-ef2cd3713568>. Acesso em: 16 abr. 2024.

BOMBARCO. **Empresa no Amazonas constrói embarcação movida a GNV**. 2011. Disponível em: <https://www.bombarco.com.br/comunidade/noticias/empresa-no-amazonas-constroi-embarcacao-movida-a-gnv>. Acesso em: 28 maio 2024.

BORSCHIVER, S.; LEMOS, A. **Technology Roadmap: planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Interciência, 2016.

BORSCHIVER, S. Roadmap: histórico e formatos. *In*: RIBEIRO, N. M. (Org.) *et al.* **Prospecção Tecnológica – volume II**. Salvador (BA): IFBA/PROFNIT, 2019. Cap. 2, p. 60-90. Disponível em: <https://www.profnit.org.br/wp->

content/uploads/2019/02/PROFNIT-Serie-Prospeccao-Tecnologica-Volume-2.pdf. Acesso em: 19 jun. 2024.

BORTNOWSKA, M. Development of new technologies for shipping natural gas by sea. **Polish Maritime Research**, Gdańsk, v. 16, n. 3, p. 70-78, jul. 2009. DOI 10.2478/v10012-008-0036-2. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.2478/v10012-008-0036-2>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BOYLSTON, J. W. **LNG as a Fuel for Vessels – Some Design Notes**. [S.l.]: [S.n.], 2012. Disponível em: https://leg.wa.gov/JTC/Documents/Studies/LNG/LNGFuelDesignNotes_060911.pdf. Acesso em: 26 fev. 2024.

BUREL, F., TACCANI, R., ZULIANI, N. Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. **Science Direct Energy**, v. 57, p. 412-420, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544213003861?via%3Dihub>. Acesso em: 26 jul. 2024.

CARVALHO, V. S., **Análise de viabilidade de operação de motores navais a gás natural através de estudos de caso aplicados a navios mercantes**. 2018. 71p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CHINA INTERNATIONAL MARINE CONTAINERS. **Company Profile**. Shenzhen: CIMC, 2023. Disponível em: <https://www.cimc.com/en/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

CHRYSSAKIS, C. *et al.* **Alternative fuels for shipping**: dnv gl strategic research & innovation position paper 1-2014. Oslo: Dnv- GL, 2014. 28 p. Disponível em: https://production.prestogo.com/fileroot7/gallery/dnvgf/files/original/c4499b3e5a874771a19919fc007bdf6a/c4499b3e5a874771a19919fc007bdf6a_low.pdf. Acesso em: 12 fev. 2024.

CIMC Enric Holdings Limited. **Company Profile**. Shenzhen: CIMC-ENRIC, 2023. Disponível em: <https://en.enricgroup.com/offshore>. Acesso em: 8 abr. 2023.

COBO, M. J.; LÓPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIDEIRA, E.; HERRERA, F. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of informetrics**, v. 5, n. 1, p. 146-166, 2011. DOI 10.1016/j.joi.2010.10.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157710000891>. Acesso em: 28 maio 2024.

COMERC. Os efeitos da guerra Rússia-Ucrânia para o mercado de gás natural. **Blog Panorama**, Seção Comércio e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.comerc.com.br/panorama/os-efeitos-da-guerra-r%C3%BAssia-ucr%C3%A2nia-para-o-mercado-de-g%C3%A1s-natural>. Acesso em: 24 maio 2024.

CUNHA, C. E. F. O.; ISPER JR., A. S. O desafio na regulação do transporte hidroviário intermunicipal no Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15736-15752, mar. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8197/7064>. Acesso em: 15 maio 2024.

DNV. **Assessment of selected alternative fuels and technologies in shipping**. 2019. Disponível em: <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download/>. Acesso em: 07 mar. 2024.

ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND. **Impact Report: a breakthrough year for climate**. New York: Environmental Defense Fund, 2022. Disponível em: <https://www.edf.org/annual-reports/2022>. Acesso em: 7 mar. 2024.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO AMAZONAS. FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Chamada Pública N. 001/2020**. Manaus, FAPEAM/FAPESP, 2020. Disponível em: <https://www.fapeam.am.gov.br/resultado-da-chamada-fapeamfapesp/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

FURUI GROUP. Zhangjiagang Furui Special Equipment Co., Ltd. **Who we are**. Jiangsu, China: Furui Group, 2023. Disponível em: <https://en.furuigroup.com/about.html>. Acesso em: 13 mar. 2024.

GOMES, P. A. **Avaliação das oportunidades do gás natural liquefeito em pequena escala no Brasil sob as perspectivas do produtor, transportador e do consumidor final**. 2018. 177 f. Dissertação (Programa de Planejamento Energético – COPPE)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GU, Y.; ZHANG, C. **Alternative or fuels for future deep sea container shipping**. 2014. 119 f. Dissertação (Master Degree Project in Logistics and Transport Management)- School of Business, Economics and Law of University of Gothenburg, Gothenburg, 2014. Disponível em: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/37711/gupea_2077_37711_1.pdf?sequence=1. Acesso em: 12 fev. 2024.

HERRERA-VIDEIRA, E.; LÓPEZ-ROBLES, J. R.; GUALLAR, J.; COBO, M.J., Global trends in coronavirus research at the time of Covid-19: A general bibliometric approach and content analysis using SciMAT. **El Profesional de la Información**, n. 29, v. 3, jun. 2020. DOI 10.3145/epi.2020.may.22. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341892549_Global_trends_in_coronavirus_research_at_the_time_of_COVID-19_A_general_bibliometric_approach_and_content_analysis_using_SciMAT. Acesso em: 24 abr. 2024.

IBARCO. **Manaus / Jutai**. Santarém, [2024?]. Disponível em: <https://ibarco.com.br/ibarcopassagens/ibarcopassagens/product/manaus-jutai-4/>. Acesso em: 15 maio 2024.

IGNACIO, J. ECO-92: o que foi a conferência e quais foram seus principais resultados? Meio ambiente. 24 nov. 2020. **Politize!** Disponível em: <https://www.politize.com.br/eco-92/>. Acesso em: 01 maio 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Navio da Anglo American com tecnologia para combustível sustentável é recebido pela primeira vez no Brasil.** Portal IBRAM, Seção Notícia, Rio de Janeiro, 03 maio 2023. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/navio-da-anglo-american-com-tecnologia-para-combustivel-sustentavel-e-recebido-pela-primeira-vez-no-brasil/>. Acesso em: 02 maio 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy system of China.** [S.l.]: IEA 50: 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/china>. Acesso em: 07 mar. 2024.

INTERNATIONAL GAS UNION. **IGU world LNG report:** 2015 edition. Press Release Issued. Paris: France, 2015. Disponível em: <https://igu.org/news/igu-world-lng-report-2015-edition/>. Acesso em: 14 out. 2023.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Convenção Internacional para a prevenção da poluição por navios. MARPOL 73/78 – Anexo VI - Regras para a prevenção da poluição do ar por navios.** 1973. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ccaimo/marpol>. Acesso em: 24 abr. 2024.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Resolution MSC.370(93).** Amendments to the international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk (IGC code). Disponível em: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370\(93\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370(93).pdf). Acesso em: 24 abr. 2024.

IRIS, C.; LAM, J. S. L. A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 170-182, sept. 2019. DOI 10.1016/j.rser.2019.04.069. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119302904?via%3Dihub>. Acesso em: 01 maio 2024.

KHAN, Manjur. Liquefied Natural Gas (LNG): Exploration & Production Process. **Priyoaustralia**, Artigos, 27 abr. 2017. Disponível em: <https://priyoaustralia.com.au/articles/research-paper/2017/liquefied-natural-gas-lng-exploration-production-process/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

KUWAHARA, N. **Análise do gás natural liquefeito como alternativa energética para os pequenos e médios sistemas isolados da Amazônia.** 1999. 156 f. Dissertação (Planejamento de Sistemas Energéticos)– Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

LAMBERTI, C. V.; GABELLINI, M.; MAGGI, C.; NONNIS, O.; MANFRA, L.; CERACCHI, S.; TRABUCCO, B.; MOLTEDO, G.; ONORATI, F.; FRANCESCHINI, G.; DI MENTO, R. An environmental monitoring plan for the construction and operation of a marine terminal for regasifying liquefied natural gas (LNG) in the North

Adriatic Sea. In: HUGHES, T. B. **Mediterranean Sea: ecosystems, economic importance and environmental threats**. New York: Marine Biology, 2013. Cap. 5. p. 115-133. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286319911_An_environmental_monitoring_plan_for_the_construction_and_operation_of_a_marine_terminal_for_regasifying_liquefied_natural_gas_LNG_in_the_North_Adriatic_Sea?enrichId=rgreq-3e0380db0217b84a9f4ae7776db00afb-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4NjMxOTkxMTtBUzozMDY4NTYzNzc5NDYxMTNAMTQ1MDE3MTY2OTk3Ng%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

LOPES, M. R. R. **Sistemas de propulsão mecânica, diesel-elétrica e híbrida em embarcações**. 2014. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Aperfeiçoamento Para Oficiais de Máquinas, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://repositorio.mar.mil.br/bitstream/ripcmb/29390/1/0000036a.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MELO, F.; OLIVEIRA, I. Primeiros impactos das novas regras de descarbonização da IMO nos contratos de afretamentos de embarcações. **Portal Migalhas**, Seção Migalhas Marítimas, São Paulo, 6 jul. 2024. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/coluna/migalhas-maritimas/389510/primeiros-impactos-das-novas-regras-de-descarbonizacao-da-imo>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MERKULOV, V. I.; SKRIPNUK, D. F.; KULIK, S. V. Analysis of world LNG production capacity. **IOP Publishing**, [S.l.], 2020. DOI 10.1088/1755-1315/539/1/012057. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/539/1/012057>. Acesso em: 05 abr. 2023.

MOKHATAB, S.; MAK, J.; VALAPPIL, J.; WOOD, D. **Handbook of Liquefied Natural Gas**. [S.l.]: Gulf Professional Publishing, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124045859/handbook-of-liquefied-natural-gas>. Acesso em: 15 abr. 2024.

MOREIRA, P. J. P. **O Gás Natural Liquefeito Como Combustível Alternativo: Evidências De Portugal**. 2019. 243 f. Tese (Doutorado em Sustentabilidade e Desenvolvimento)- Universidade Aberta de Transporte Marítimo e Sustentabilidade, Portugal, 2019.

MOTTA, R. F. **Uso de Gás Natural em Navios de Apoio**: Infraestrutura de Abastecimento. 2015. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

NERHEIM, A. R. Maritime LNG fuel systems for small vessels - a survey of patents. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 119, jun. 2023. DOI 10.1016/j.trd.2023.103766. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920923001633?via%3Dihub>. Acesso em: 15 abr. 2024.

NOGUEIRA, R. J. B.; OLIVEIRA NETO T. O. A Geografia do Gás na Amazônia Brasileira. **Revista Tempo do mundo**, n. 27, p. 355-384, dez. 2021. DOI 10.38116/rtm27art13. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/revistas/index.php/rtm/article/view/324>. Acesso em: 15 abr. 2024.

OLIVEIRA NETO, T.; NOGUEIRA, R.J.B. Os transportes e as dinâmicas territoriais no Amazonas. **Confins: Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 43, 2019. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/25365?lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2024.

OLIVEIRA, D. Propulsão a Gás para Balsas. **Portos e Navios**, Indústria Naval, Rio de Janeiro, 20 mar. 2019. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/ind-naval-e-offshore/propulsao-a-gas-para-balsas>. Acesso em: 24 fev. 2024.

PANAGIOTOPOULOS, N. K. **Investigation of BOG management during marine LNG transport focusing on its use for ship propulsion**. 2024. 117 f. Tese (Department Of Naval Architecture)- University of West Attica School Of Engineering, Athens, 2024.

PARADISO TURISMO. Rio Solimões, Amazônia Estradas D'Água – 13 a 23 de julho de 2023. **Portal Paradiso**, Seção Programas, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://paradisoturismo.com.br/programas/rio-solimoes-amazonia-estradas-dagua/>. Acesso em: 15 maio 2024.

PARANHOS, R. C. S.; RIBEIRO, N. M. Importância da Prospecção Tecnológica em Base de Patentes e seus Objetivos da Busca. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, BA, v. 11, n. 5, p. 1274, 2018. DOI 10.9771/cp.v11i5.28190. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/28190>. Acesso em: 07 jun. 2022.

PEREIRA, S. A. **O GNL como mecanismo de flexibilização no fornecimento de Gás Natural para geração termelétrica no Amazonas**. 2020. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos)- Universidade Federal do Pará, Pará, 2020.

PORTAL A CRÍTICA. Lancha que opera Manaus-Santarém exige RT-PCR de passageiros. **A Crítica**, Seção Saúde, Manaus, 15 mar. 2021. Disponível em: <https://www.acritica.com/saude/lancha-que-opera-manaus-santarem-exige-rt-pcr-de-passageiros-1.21440>. Acesso em: 15 maio 2024.

PORTOS e navios. Painel: O futuro da navegação na Amazônia – Tendências e Oportunidades. **Sinaval**, Rio de Janeiro, 26 maio 2023. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2023/05/painel-o-futuro-da-navegacao-na-amazonia-tendencias-e-oportunidades/>. Acesso em: 24 fev. 2024.

QUEIROZ, K. O. Transporte fluvial no Solimões: uma leitura a partir das lanchas Ajato no Amazonas. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 322–341, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/133370>. Acesso em: 24 fev. 2024.

QUESTEL. **Base de dados Orbit Intelligence®**. Paris: Questel, 2024. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentDocumentPage>. Acesso em: 4 fev. 2024.

QUESTEL. **Concept and Key content extraction**. [S.l.]: Orbit Intelligence®, 2023. Disponível em: <https://intelligence.help.questel.com/en/support/solutions/articles/77000467935-concept-and-key-content-extraction>. Acesso em: 04 fev. 2024.

RATH, S.; KROL, M. Comparative Risk Assessment for Different LNG-Storage Tank Concepts. **Chemical Engineering Transactions**, [S.l.], v. 31, 2013. DOI 10.3303/CET1331018. Disponível em: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1331018>. Acesso em: 10 mar. 2024.

RESEARCH CENTRE FOR GREENHOUSE GÁS INNOVATION. **Engenheiros estudam como projetar navios movidos a gás natural liquefeito**. RCGI, Butantã, SP, 04 jan. 2017. Disponível em: <https://sites.usp.br/rcgi/br/engenheiros-estudam-como-projetar-navios-movidos-a-gas-natural-liquefeito/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

RUDDY, G. Eneva avalia projeto para escoar gás por meio de balsas flutuantes em Manaus. Seção Valor. **Editora Globo**, Seção Empresas, Rio de Janeiro, 09 fev. 2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2022/02/09/eneva-avalia-projeto-para-escoar-gas-por-balsas-em-rios-no-amazonas.shtml>. Acesso em: 29 maio 2024.

SILVA, G. H. S. **O Transporte marítimo de granéis líquidos os efeitos de mudanças regulatórias na cabotagem**. 2023. 218 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval e Oceânica)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

SILVA, J., Cargueiro encalha e fica ‘atravessado’ na foz do Rio Amazonas. **Seles Nafes**, Seção Notícias, Amapá 12 jun. 2024. Disponível em: <https://selesnafes.com/2024/06/cargueiro-encalha-e-fica-atravessado-na-foz-do-rio-amazonas/>. Acesso em: 15 maio 2024.

SINAVAL. Extensão da vida útil manteve aquecidos serviços na região Norte. **Portal Sinaval**, Seção Notícias da Semana, Rio de Janeiro, 05 abr. 2022. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2022/04/extensao-da-vida-util-manteve-aquecidos-servicos-na-regiao-norte/>. Acesso em: 15 maio 2024.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S. ALVES, L. H. A Pesquisa Bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, n. 43, p. 64-83, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SPOOF-TUOMI, K.; NIEMI, S., Environmental and Economic Evaluation of Fuel Choices for Short Sea Shipping. **Clean Technologies**, v. 2, n. 1 p. 34-52, 2020. DOI 10.3390/cleantechnol2010004. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-8797/2/1/4>. Acesso em: 28 maio 2024.

STAR MARINE Public Relations Co., Ltd. **Future net zero with the Japan new Technology**. Japan: The Nippon Foundation. 2024. Disponível em: https://maritimejapan.com/cms/wp-content/uploads/2024/03/2024_ShipbuildinginJapan2024.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

TRACTEBEL ENGINEERING S.A. **Mini/Micro LNG for commercialization of small volumes of associated gas**. World Bank Group, Energy and Extractives. Global Gás Flaring Reduction a Public Private Partnership. Out./ 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10986/25919>. Acesso em: 15 maio 2024.

VEIGA, M., Advogada diz que corrida de rabetas proposta por Cristiano D'Angelo vai contra as normas marítimas. **Portal/AM1**, Seção Cenário, Manaus, 05 de abril de 2024. Disponível em: <https://amazonas1.com.br/advogada-diz-que-corrida-de-rabetas-proposta-por-cristiano-dangelo-vai-contra-as-normas-maritimas/>. Acesso em: 15 maio 2024.

VELLING, A. Types of Machine Elements. **Fractory**, Manchester, 05 ago. 2021. Disponível em: <https://fractory.com/types-of-machine-elements/>. Acesso em: 7 mar. 2024.

YALE UNIVERSITY. Cryogen use and storage guidelines. **Yale Environmental Health & Safety**, Connecticut, oct. 2016. Disponível em: <https://ehs.yale.edu/sites/default/files/files/cryogen-use-storage.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

YANHAI, L. **Liquefied natural gas storage tank**. CN211203629 U Depositante: Petrochina. 2019CN-U2176534. Procurador: Daqing Jinxing Fuel Gas. Depósito: 06 dez. 2019. Concessão: 07 ago. 2020.

ZHANG, Y. *et al.* Shipping emissions and their impacts on air quality in China. **Science of the Total Environment**, p. 186-198, mar. 2017. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.12.098. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28062109/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

APÊNDICE A - SINTAXES E PROCESSO DE AFUNILAMENTO DA PESQUISA NA ETAPA PROSPECTIVA

Nesta fase, para a pesquisa tecnológica realizou-se uma busca preliminar de patentes objetivando identificar as patentes mais relevantes e recentes no campo de interesse. Para a composição do termo de busca no *Orbit Intelligence*, organizaram-se as palavras relacionadas a tanques cilíndricos de armazenagem de GNL para embarcações movidas a gás, conforme disposição no Quadro A1. Foram utilizados os termos ‘Gás Natural Liquefeito e GNL’ com ‘*Liquefied Natural Gas*’ and ‘*LNG*’, ‘armazenagem’ com ‘*Storage*’, ‘*storing*’, ‘*ensilage*’, ‘*reservoir*’, ‘*container*’, ‘Tanque de armazenagem de GNL’, ‘tanque tipo C’ a ‘*LNG Storage Tank*’, ‘*Type C Tank*’, ‘Embarcações médias e pequenas’ com ‘*Small vessels and medium vessels*, *Vessels*, *ship*’, entre outras.

QUADRO A1 - Termos de busca para a composição da sintaxe de busca.

Palavras-chave	Termos para a composição da sintaxe no ORBIT® Intelligence
Gás Natural Liquefeito (GNL)	Liquefied Natural Gas, GNL
Tanque de armazenagem de GNL, tanque tipo C, Tanques cilíndricos de GNL	LNG Storage Tank, Type C Tank, cylindrical, LNG tanks, cylind
Armazenagem	Storage, storing, ensilage, reservoir, container
Embarcações médias e pequenas, navios	Small vessels and medium vessels, Vessels, ship
Sistema de propulsão	Propeller system, power
Embarcações movidas a gás	gas-powered vessels

Fonte: Elaborado pela autora.

A diversidade de vocábulos visou o retorno de patentes que abrangessem as inovações relacionadas diretamente com os sistemas tanques cilíndricos de armazenagem de GNL como combustível usado em embarcações. No Quadro A2 estão listadas as 10 sintaxes de buscas.

QUADRO A2 - Sintaxes de busca sobre sistemas de armazenagem de GNL como combustível usado em embarcações

Etapas	Termos de Busca	Quant.
#1	((LIQUID+ NATURAL GAS OR LNG) AND (CYLIND+ AND (SHIP+ OR VESSEL+ OR GAS FUEL+ VESSEL+) AND (TANK+ PRESSURE+ OR STORAGE TANK+);	4.857
#2	((LIQUID+ NATURAL GAS OR LNG) AND (CYLIND+ AND (SHIP+ OR VESSEL+)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB/KEYW/TX	11.402
#3	((LIQUEFY+ NATURAL GAS OR LNG) AND (FUEL+ SHIP+ OR FUEL POWER SHIP+ OR STORAGE+ TANK) AND ((MIDDLE?SMALL OR MIDDLE OR SMALL) AND (SHIP OR SHIPS OR VESSEL+ OR WATERCRAFT+ OR COALBURNER+ OR TOW OR TUG PUSHER+ OR BARGE+ OR SCOW)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB/KEYW/TX AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	6.245
#4	((STORING+ OR TANKAGE OR HOUSING OR HOARDING OR ENSILAGE OR CELLARAGE) AND (RESERVOIR+ OR SUMP OR CISTERN+ OR VASE OR VESSEL+ OR BOX OR RECEPTACLE OR CONTAINER OR CONCEPTACLE OR FORM OR CASING OR INSULATION SYSTEM OR INSULATION STRUCTURE) AND ((MIDDLE?SMALL OR MIDDLE OR SMALL) AND (SHIP OR SHIPS OR VESSEL+ OR WATERCRAFT+ OR COALBURNER+ OR TOW OR TUG PUSHER+ OR BARGE+ OR SCOW OR TOWING VEHICLE OR TUG BOAT OR TUG VESSEL) AND (LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) AND (FUEL+ PROPELLER SYSTEM OR POWER)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB/KEYW/TX AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	4.496
#5	((STORAGE+ OR STORING OR TANK+ OR HOUSING OR HOARDING OR ENSILAGE OR RESERVOIR+ OR SUMP OR CISTERN+ OR VASE OR VESSEL+ OR BOX OR RECEPTACLE OR CONTAINER OR FORM OR CASING) AND ((MIDDLE?SMALL OR MIDDLE OR SMALL) AND (SHIP OR SHIPS OR VESSEL+ OR WATERCRAFT+ OR COALBURNER+ OR TOW OR TUG PUSHER+ OR BARGE+ OR SCOW OR TOWING VEHICLE OR TUG BOAT OR TUG VESSEL) AND (LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) AND (FUEL+ PROPELLER SYSTEM OR POWER)))/TI/AB/DESC/ODES/ADB AND (F17C+)/IPC AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	2.166
#6	((LNG AND FUEL SYSTEM) OR (SHIP LNG AND FUEL TANK) OR (LOW PRESSURE AND SYSTEM) OR (MARITIME AND LNG AND FUEL AND SYSTEM) OR (LNG AND FUEL AND B63 AND SPACE AND ALLOCATION) OR (C-TANK AND LNG STORAGE))/TI/AB/DESC/ODES/ADB AND (B63B)/IPC AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	3.364
#7	((LNG AND FUEL SYSTEM) OR (MARITIME AND LNG AND FUEL AND SYSTEM) OR (LNG AND FUEL AND B63) OR (C-TANK AND LNG STORAGE) OR (F17B-001/00))/TI/AB/DESC/ODES/ADB AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	2.564
#8	((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) AND (FUEL SYSTEM)) OR (MARITIME LNG FUEL SYSTEM OR SMALL LNG FUELED SHIP OR LNG FUEL TANK DESIGN OR LNG FUEL) OR ((("C"?TANK OR TYPE "C" OR "C" TYPE) AND LNG STORAGE))) AND ((MEDIUM OR SMALL) AND (VESSEL+ OR SHIP))) NOT (BOIL?OFF OR BOIL?OF?GAS))/TI/AB/DESC/ODES/ADB AND (EPD=2013-01-01:2023-12-31))	1.605
#9	((LIQUID+ NATURAL GAS OR LNG) AND (CYLIND+ AND (SHIP+ OR VESSEL+)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB/KEYW/TX	3.538
#10	((LIQUID+ NATURAL GAS OR LNG OR LIQUEFIED NATURAL GAS) AND (FUEL LNG OR POWER SHIP OR PRESSURIZED CILYNDRICAL TANK OR CRYOGENIC STORAGE TANK) AND (LNG OR DUAL FUEL SHIP))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB/KEYW/TX AND (EPD=2013-01-01:2023-01-31))	1.602

Fonte: *Orbit Intelligence*® (Questel, 2023).

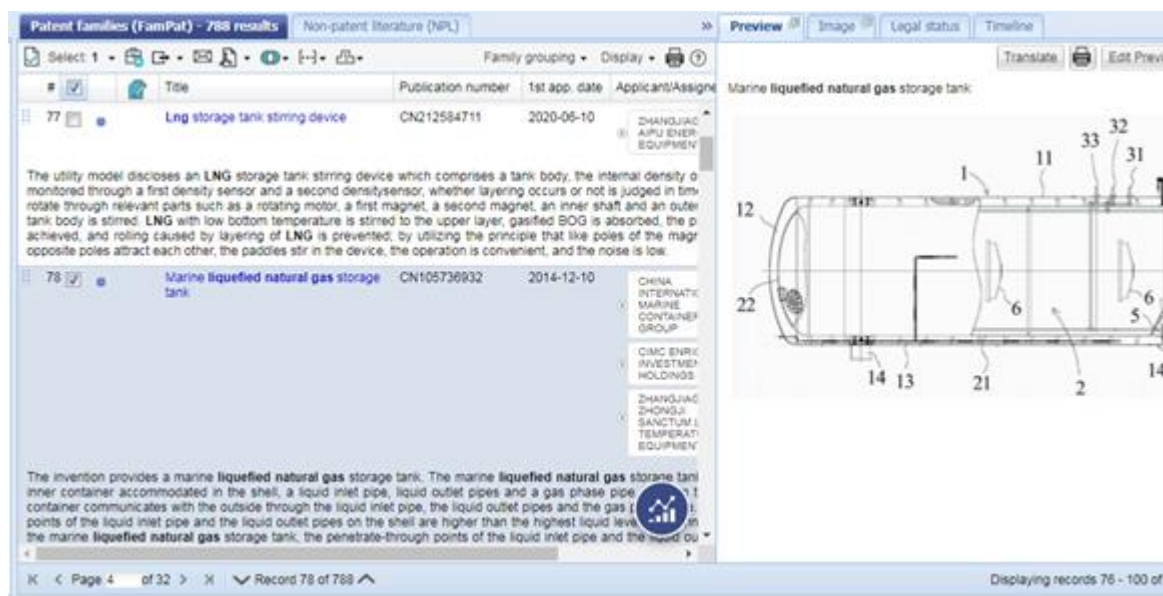
Ressalta-se que os projetos de novas embarcações são complexos, envolvem diversos estudos de mercado, de tendências e de processos produtivos, leva-se em conta os vários processos de melhorias, o que acarreta em altos custos e pode-se levar anos para uma nova embarcação entrar no mercado. De acordo com Nerheim (2023), os sistemas marítimos de combustível de GNL geralmente são feitos sob medida para uma determinada embarcação devido às particularidades dos sistemas operacionais de cada embarcação e do espaço disponível a bordo para que os equipamentos sejam instalados.

A autora afirma também que, atualmente, no mercado, já existem diversas empresas com sistemas de processamento de GNL em variados estilos que não são divulgados, muitas vezes, devido a questões de confidencialidade e para se resguardar junto à concorrência. Contudo, existem outras empresas que fornecem sistemas de combustível de GNL e possuem diversas patentes relacionadas à utilização do GNL como combustível no setor marítimo.

APÊNDICE B - PROCESSO DE AFUNILAMENTO POR SEMELHANÇA

Apreciando os documentos recuperados com a 2ª equação de busca (((LIQUEF+ NATURAL GAS OR LNG) NOT BOIL OFF GAS)/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/ADB AND (F17C-001/00)/CPC), identificou-se uma patente chinesa intitulada '*Marine liquefied natural gas storage tank*' (Tanque de armazenamento de gás natural liquefeito marítimo), a qual compreende um tanque de armazenamento de gás natural liquefeito marítimo resistente a baixas temperaturas e de baixo custo. Considerando o critério custo, selecionou-se essa patente para realizar nova busca, dessa vez por patentes semelhantes (um recurso disponível na base de patentes *Orbit Intelligence*®), para filtrar ainda mais os resultados da equação anterior, visto que as patentes recuperadas ainda não estavam estritamente relacionadas ao objetivo de estudo. As Figuras A2.1, A2.2, e A2.3 ilustram o passo a passo desse refinamento.

FIGURA A2.1 - Seleção da patente '*Marine liquefied natural gas storage tank*'.



Fonte: *Orbit Intelligence*® (Questel, 2024).

FIGURA A2.2 - Restrição da patente selecionada a patentes similares (seta vermelha).

The screenshot displays the Patent families (FamPat) interface with 788 results. The 'Non-patent literature (NPL)' tab is selected. The search results table shows two entries:

#	Title	Publication number	1st app. date	Applicant/Assignee
77	LNG storage tank		2020-06-10	ZHANGJIAC AIPI ENER EQUIPMENT
78	Marine liquefied natural gas storage tank	CN105736932	2014-12-10	CHINA INTERNAT MARINE CONTAINER GROUP, CIMC ENRIK INVESTME HOLDINGS, ZHANGJIAC ZHONGJI SANCTUM L TEMPERAT EQUIPMENT

A red arrow points to the 'Restrict to similar patents' button in the top toolbar. The right panel shows a technical drawing of a 'Marine liquefied natural gas storage tank' with various components labeled with numbers (1, 11, 33, 31, 12, 22, 14, 13, 21, 2, 14).

Fonte: Orbit Intelligence® (Questel, 2024).

FIGURA A2.3 - Resultado de 640 patentes em concordância com o objetivo proposto (seta vermelha).

The screenshot displays the Patent families (FamPat) interface with 640 results. The 'Non-patent literature (NPL)' tab is selected. The search results table shows two entries:

#	Title	Publication number	1st app. date	Applicant/Assignee
1	Marine liquefied natural gas storage tank	CN105736932	2014-12-10	CHINA INTERNAT MARINE CONTAINER GROUP, CIMC ENRIK INVESTME HOLDINGS, ZHANGJIAC ZHONGJI SANCTUM L TEMPERAT EQUIPMENT
2	Marine liquefied natural gas storage tank	CN204387669	2014-12-10	CHINA INTERNAT MARINE CONTAINER GROUP, CIMC ENRIK INVESTME HOLDINGS, ZHANGJIAC ZHONGJI SANCTUM L TEMPERAT EQUIPMENT

A red arrow points to the 'Restrict to similar patents' button in the top toolbar. The right panel shows a technical drawing of a 'Marine liquefied natural gas storage tank' with various components labeled with numbers (1, 11, 33, 31, 12, 22, 14, 13, 21, 2, 14).

Fonte: Orbit Intelligence® (Questel, 2024).

APÊNDICE C - MATRIZ SWOT (FOFA)

ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO AMAZONAS

FORÇAS	FRAQUEZAS
• Tecnologias inovadoras disponíveis • Uso do GNL na redução de emissões de poluentes; • Tendência mundial para o uso do GNL; • Cooperação na criação de Rede de Distribuição logística de GNL para a Região Amazônica; • Oportunidades para diversos projetos envolvendo o uso do GNL como combustível no estado do Amazonas. • Contribuição significativa para a sustentabilidade das pequenas regiões que necessitam de desenvolvimento nestes setores.	• Prospecção do tema é desafiadora por conta do conhecimento específico; • Resultados das buscas não tratam apenas tanques cilíndricos de GNL para combustível. • Tecnologias de tanques não somente para uso naval, visto que a maioria dos tanques existentes são para grandes embarcações; • Falta de ação do poder público para a inserção de novas tecnologias para uso do GNL como combustível no estado; • O GNL não é a alternativa mais viável econômica e ambientalmente a longo prazo. • A adoção da tecnologia é um desafio a ser vencido em virtude das características diversas de cada embarcação.
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
• Adoção de alternativas energéticas menos degradantes ao meio ambiente; • Proeminência do Estado do Amazonas na produção do GNL • Relações mais integradas do setor naval com os setores produtivos e com a sociedade; • Atendimento aos ODS • Formação de parcerias e pesquisas conjuntas entre a universidade e o setor aquaviário.	• Falta de percepção dos responsáveis do setor para a necessidade das reduções nas emissões; • Falta compreensão para a importância da inovação nos produtos e serviços relativos ao setor; • Falta de incentivo financeiro para melhorias requeridas pelo setor;

Fonte: **Mestranda:** Vera Lucia Lima Gomes / **Orientadora:** Prof. Dra. Rosana Zau Mafrá / **Em** – 02/05/2024.

APÊNDICE D - MODELO DE NEGÓCIO CANVAS

ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO AMAZONAS

Parcerias-chave: ● Coordenadores de projetos de pesquisa afins ao tema ● Armadores; ● Órgãos oficiais do Governo.	Atividades-chave: ● Prospecção Tecnológica; ● Entrevistas com os players do setor aquaviário.	Propostas de Valor: ● Uso de Gás Natural Liquefeito como combustível nas embarcações regionais do estado do Amazonas por questões ambientais e econômicas.	Relacionamento: ● Redes sociais; ● E-mail.	Segmentos de Clientes: ● Armadores; ● Transportadores de GNL.
	Recursos-chave: ● Bases de dados; ● Ferramentas de análise.		Canais: ● Periódicos científicos; ● Workshops.	
Estrutura de Custos: ● Bases de dados; ● Ferramentas de análise.			Fontes de Receita: ● Consultoria para prospecção de novas tecnologias para implementação no setor aquaviário.	

Fonte: **Mestranda:** Vera Lucia Lima Gomes / **Orientadora:** Prof. Dra. Rosana Zau Mafra / **Em** – 2/05/2024

APÊNDICE E - RELATÓRIO TÉCNICO-CONCLUSIVO (DOCUMENTO AVULSO)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP
FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS - FES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA
PARA A INOVAÇÃO - PROFNIT

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO SOBRE O ESTUDO PROSPECTIVO PARA USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) COMO COMBUSTÍVEL EM TRANSPORTE AQUAVIÁRIO NO ESTADO DO AMAZONAS

**EQUIPE TÉCNICA:**

VERA LUCIA LIMA GOMES
ROSANA ZAU MAFRA
NELSON KUWAHARA
DANIEL REIS ARMOND DE MELO
RAPHAEL MAGALHÃES GOMES MOREIRA
MARCOS VINÍCIUS ALMEIDA NARCISO
JUSSARA SOCORRO CURY MACIEL

2024



ANEXO A - ARTIGO ACEITO PARA APRESENTAÇÃO ORAL (E POSTERIOR SUBMISSÃO À REVISTA DE EVENTO)

Assunto Aprovação - Apresentação Oral no ProspeCT&I 2024
Para: [Vera Lucia Lima Gomes <veralucial@yahoo.com.br>, Rosana Zau Mafra Mafra <rosanazau@ufam.edu.br>]
De Denise Bunn <projetos.lede@gmail.com>
Data: qui., 2 2e mai. 2e 2024 às 20:45

Prezadas autoras,

O artigo Estudo Prospectivo para Uso de Gás Natural Liquefeito (GNL) como Combustível em Transporte Aquaviário no Estado do Amazonas foi aceito para Apresentação Oral durante o ProspeCT&I2024 que ocorrerá no período de 13 a 17 de maio de 2024, em Maceió, Alagoas.

Por favor, preencha o Formulário Google a seguir para ser inserido na Programação.

<https://forms.gle/kpnbmFDeE7iXyei1A>

A apresentação do vosso trabalho no evento ocorre independentemente da publicação na revista Cadernos de Prospecção. O seu manuscrito continuará a ser avaliado por pareceristas para publicação na revista Cadernos de Prospecção.

Aguardamos o preenchimento para podermos incluir este trabalho na Programação.

Agradecemos seu constante interesse em nosso trabalho,

Comissão Científica do ProspeCT&I 2024