



Projeto e Instalação de uma estação de abastecimento
de GNC para veículos

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Bruno Filipe Jesus Carneira

Leiria, julho de 2021

Página intencionalmente deixada em branco



Projeto e Instalação de uma estação de abastecimento de GNC para veículos

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Bruno Filipe Jesus Cardeira

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Professor Doutor Luís Manuel Ventura Serrano, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e sob a orientação do Professor Doutor Mário António Correia, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, julho de 2021

Página intencionalmente deixada em branco

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2020/2021, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Página intencionalmente deixada em branco

Comece onde você está,

use o que você tem

e faça o que você pode.

Arthur Ashe

Página intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Quero começar por agradecer à empresa PRF - Gas Solutions, por toda a ajuda e informação que me transmitiram em aproximadamente nos 2 anos ao serviço da empresa e por este projeto e outros em que estive envolvido.

Gostava também de agradecer aos orientadores Professor Doutor Luís Manuel Ventura Serrano e Professor Doutor Mário António Correia pelo apoio, dedicação e empenho nesta fase final de relatório, sem a qual não teria conseguido.

Quero agradecer aos meus amigos pela motivação transmitida ao longo do desenvolvimento deste projeto, por todo o apoio que me dão e também por não me deixarem desistir, especialmente nestes últimos meses difíceis da minha vida.

Por último e de certo não menos importante, deixo um agradecimento à minha família, em especial à minha mãe e à minha irmã pela ajuda e força que me deram ao longo deste projeto, como também ao longo de todo o percurso académico, que sem a qual não teria chegado onde cheguei.

Página intencionalmente deixada em branco

Resumo

O presente relatório descreve o projeto desenvolvido no âmbito da unidade curricular Projeto integrado no curso de Mestrado de Engenharia Mecânica - Produção Industrial (MEM - PI).

O gás natural (GN) pode ser usado para diversas finalidades, como combustível veicular, na habitação, na indústria, em centrais termoelétricas, entre outros. Este projeto foca-se na utilização do gás natural comprimido (GNC) para abastecimento de viaturas, sendo que os postos de abastecimento podem apresentar várias formas de instalação e tecnologias, de acordo com diversos fatores. Sendo um combustível com menor impacto ambiental e mais económico relativamente aos combustíveis tradicionais, surgiu a oportunidade de criação de um posto de abastecimento de GN numa frota privada de veículos.

O objetivo principal deste projeto consiste na redução de custos de combustível na empresa, através da implementação de um posto de abastecimento de GNC a partir de gás natural liquefeito (GNL). Outro objetivo importante associado ao desenvolvimento deste projeto é a contribuição para a descarbonização, devido ao facto de o GNC ser um combustível mais limpo que o diesel.

Para tal, a metodologia incluiu a definição e implementação de módulos de descarga, armazenamento e abastecimento e o desenvolvimento do sistema de controlo e sua instrumentação. O GN chega ao posto de abastecimento na sua forma liquefeita, sendo armazenado e posteriormente processado. Assim que haja uma solicitação de abastecimento de GNC, este flui desde o posto de abastecimento até ao reservatório do veículo.

O posto implementado não apresenta uma configuração típica, pela presença de um vaporizador adicional, justificando diferenças no processo de funcionamento do posto, nomeadamente na etapa de compressão. Dessa forma, os custos de compressão são superiores aos de um posto tradicional. Contudo, a substituição de parte da frota de diesel por GNC proporciona uma redução nos custos do combustível utilizado. Além disso, a utilização de GN como combustível apresenta ainda outras vantagens associadas às características inerentes ao próprio combustível.

Palavras-chave: *gás natural, gás natural comprimido, gás natural liquefeito, posto de abastecimento, veículos a GNC*

Página intencionalmente deixada em branco

Abstract

This report describes the project developed within the Project course unit integrated into the Mechanical Engineering - Industrial Production Master's course.

NG can be used for various purposes, such as vehicle fuel, in housing, in industry, in thermoelectric plants, among others. This project focuses on the use of CNG to supply vehicles, and the filling stations can present various forms of installation and technologies, according to several factors.

The objective of this project is to demonstrate the implementation of a CNG filling station using LNG in a private fleet of vehicles. The investment on CNG-powered vehicles is enhanced by the fact that CNG is a cheaper fuel with lower environmental impacts when compared to traditional fuels.

For that purpose, the methodology includes the definition and implementation of unloading, storage and supply modules and the development of the control system and its instrumentation. NG enters the filling station in its liquefied form, is stored and later processed. As soon as there is a request for CNG refueling, it flows from the refueling station to the vehicle's fuel tank.

The implemented station does not present a typical configuration, due to the presence of an additional vaporizer, justifying the differences in the operation process of the station, namely in the compression stage. As a result, compression costs are higher than those of a traditional station. However, replacing part of the diesel fleet with CNG provides a reduction in fuel costs. In addition, the use of NG as fuel also has other advantages associated with the inherent characteristics of the fuel.

Keywords: *natural gas, compressed natural gas, liquefied natural gas, filling station, CNG-powered vehicles*

Página intencionalmente deixada em branco

Índice

1. Introdução	1
2. Utilização de Gás Natural.....	3
2.1 Economia.....	3
2.1.1 Reservas Provadas.....	4
2.1.2 Produção	5
2.1.3 Consumo global	6
2.1.4 Consumo <i>per capita</i>	7
2.1.5 Exportação	8
2.1.6 Importação	8
2.1.7 Dados económicos referentes a Portugal	9
2.2 Gás natural no Mundo	15
2.3 Gás natural em Portugal	17
2.4 Origem	18
2.5 O setor do gás natural.....	20
2.6 Vantagens e desvantagens do gás natural.....	22
2.7 Gás natural renovável.....	22
2.8 Gás natural liquefeito	24
2.8.1 Cadeia integrada de GNL.....	25
2.8.2 Processo de liquefação.....	28
2.8.3 Vantagens e desvantagens do GNL	29
2.8.4 Interligação do mercado de GN e GNL.....	29
2.9 Gás natural comprimido	30
2.9.1 Tecnologias de abastecimento de GNC.....	31
2.9.2 Vantagens e desvantagens do GNC	33
2.9.3 Comparação entre veículos a diesel e GNC	35

3.	Postos de abastecimento de gás natural	37
3.1	Posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição	38
3.2	Posto de abastecimento de GNC a partir de GNL	39
3.3	Posto de abastecimento de GNL	42
3.4	Posto de abastecimento GNL e GNC a partir de GNL	43
3.5	Equipamentos adicionais para rentabilização do posto de abastecimento.....	45
3.6	Comparação entre os variados postos de abastecimento	49
4.	Metodologia	51
4.1	Sistema de controlo.....	51
4.2	Módulo de descarga	56
4.2.1	Deslocamentos.....	58
4.3	Módulo de armazenamento de GNL.....	60
4.3.1	Reservatório	61
4.3.2	Equipamentos integrantes.....	62
4.3.2.1	Vaporizador de controlo de pressão	62
4.3.2.2	Vaporizador ambiental	63
4.3.2.3	Sistema de odorização.....	64
4.4	Módulo de abastecimento de GNC.....	65
4.4.1	Compressor de Gás Natural	65
4.4.2	Armazenamento de GNC	67
4.4.2.1	Painel de Alta Pressão	68
4.4.3	Unidade de enchimento de GNC	70
4.5	Funcionamento geral do posto de abastecimento	71
5.	Implementação de um posto de abastecimento de gás natural	76
5.1	Módulo de controlo.....	76
5.2	Módulo de descarga de GNL.....	77
5.3	Módulo de armazenamento de GNL.....	78

5.3.1	Reservatório	79
5.3.2	Equipamentos integrantes do reservatório de GNL.....	81
5.3.2.1	Vaporizador de controlo de pressão	82
5.3.2.2	Vaporizador ambiental	82
5.3.2.3	Sistema de odorização.....	83
5.4	Módulo de abastecimento de GNC.....	84
5.4.1	Compressor de Gás Natural	84
5.4.2	Armazenamento de GNC	86
5.4.2.1	Painel de Alta Pressão	87
5.4.3	Unidade de enchimento de GNC	88
5.5	Módulo de equipamentos auxiliares	89
5.5.1	Sistema de ar comprimido	89
5.5.2	Sistema de Segurança	90
5.6	Módulo de gestão de abastecimentos.....	91
5.7	Resultados	92
6.	Conclusão.....	96
	Referências bibliográficas.....	98
	Apêndice A – Caraterísticas do GN.....	104
	Apêndice B – Relação entre m ³ e kWh.....	106
	Apêndice C – Caraterísticas do GNL.....	110
	Apêndice D – Legislação para postos de abastecimento	113
	Apêndice E – Caraterísticas do THT	117
	Apêndice F – Procedimento de abastecimento de um veículo a GNC.....	119

Página intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 – Fluxo do mercado de GN	4
Figura 2 – Dez maiores reservas de GN no Mundo (retirado de (5) (6))	5
Figura 3 – Dez maiores produtores de GN no Mundo (retirado de (5) (6)).....	6
Figura 4 – Dez maiores consumidores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))	7
Figura 5 – Dez maiores consumidores <i>per capita</i> de GN no Mundo (retirado de (5) (6))..	7
Figura 6 – Dez maiores exportadores de GN no Mundo (retirado de (5) (6)).....	8
Figura 7 – Dez maiores importadores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))	9
Figura 8 – Volumes de importação de GN (retirado de (7))	10
Figura 9 – Volumes de importação de GN por país (retirado de (7))	11
Figura 10 – Preço médio na importação de GN (retirado de (7)).....	12
Figura 11 – Volumes de exportação de GN (retirado de (7))	13
Figura 12 – Volumes de exportação de GN por país (retirado de (7)).....	14
Figura 13 – Preço médio na exportação de GN (retirado de (7))	14
Figura 14 – Rede de GN (adaptado de (3)).....	19
Figura 15 – Pontos de entrada de GN em Portugal (retirado de (14))	21
Figura 16 – Ciclo contínuo de GN renovável (retirado de (13))	23
Figura 17 – Terminal de receção de GNL em Sines (retirado de (14)).....	25
Figura 18 – Cadeia integrada de GNL (adaptado de (24))	27
Figura 19 – Processo de liquefação do GN (adaptado de (20))	28
Figura 20 – Interligação do mercado de GN e GNL (adaptado de (26)).....	30
Figura 21 – Veículo a GNC e os seus principais componentes (retirado de (28)).....	31
Figura 22 – Estação de abastecimento rápido (retirado de (30)).....	32
Figura 23 – Estação de abastecimento lento (retirado de (30)).....	32
Figura 24 – Estação de abastecimento combinado (retirado de (30)).....	33
Figura 25 – Vantagens do GNC.....	34
Figura 26 – Posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição (retirado de (28))	39
Figura 27 – Posto de abastecimento de GNL-C (retirado de (28)).....	41
Figura 28 – Posto de abastecimento de GNL (retirado de (28))	43
Figura 29 – Posto de abastecimento GNL/C (retirado de (28))	45
Figura 30 – Comportamento do GNL (retirado de (28))	46

Figura 31 – Rentabilização do posto de abastecimento de GNL/C com recurso a nitrogénio líquido (retirado de (28)).....	48
Figura 32 – Rentabilização do posto de abastecimento de GNL/C com recuperação de gás (<i>boil off</i>) (retirado de (28))	49
Figura 33 – Fluxograma de processo do posto de abastecimento a implementar	51
Figura 34 – Sistema de controlo	53
Figura 35 – Apoios aplicados à tubagem de descarga no <i>software</i> CAESAR II (retirado de (28))	58
Figura 36 – Vista dos deslocamentos em 3D (retirado de (28)).....	60
Figura 37 – Princípio de funcionamento do painel de alta pressão	70
Figura 38 – Posto de abastecimento de GNL-C (retirado de (28)).....	71
Figura 39 – Edifício de controlo (retirado de (28)).....	76
Figura 40 – Visualização do posto de abastecimento através do HMI (retirado de (28)).	77
Figura 41 – Tubagem de descarga implementada (retirado de (28))	77
Figura 42 – Apoios implementados de acordo com o projetado (retirado de (28))	78
Figura 43 – Reservatório de GNL (retirado de (28)).....	79
Figura 44 – Válvulas de segurança do reservatório de GNL (retirado de (28))	80
Figura 45 – Instrumentação instalada no reservatório de GNL (retirado de (28)).....	81
Figura 46 – Equipamentos integrantes do reservatório de GNL de baixa capacidade (retirado de (28)).....	81
Figura 47 – Vaporizador de controlo de pressão (retirado de (28)).....	82
Figura 48 – Reservatório de THT e sua instrumentação (retirado de (28))	83
Figura 49 – Compressor de GN (retirado de (28)).....	84
Figura 50 – Baterias de armazenamento de GNC (retirado de (28))	86
Figura 51 – Painel de alta pressão (retirado de (28)).....	88
Figura 52 – Unidade de enchimento de GNC (retirado de (28)).....	88
Figura 53 – Sistema de ar comprimido (retirado de (28)).....	90
Figura 54 – Módulo de gestão de abastecimentos (retirado de (28)).....	92

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre Diesel e GNC no VW Golf Comfortline (retirado de (35))	35
Tabela 2 – Comparação entre Diesel e GNC no Opel Zafira Edition (retirado de (35))...	35
Tabela 3 – Comparação entre tipologias (retirado de (28))	50
Tabela 4 – Deslocamentos na tubagem de descarga (retirado de (28))	58
Tabela 5 - Instrumentação do reservatório de GNL (retirado de (28)).....	61
Tabela 6 – Instrumentação associada ao vaporizador ambiental (retirado de (28))	63
Tabela 7 – Instrumentação associada ao reservatório de THT (retirado de (28))	64
Tabela 8 – Instrumentação associada ao compressor de GN (retirado de (28))	65
Tabela 9 – Instrumentação associada às baterias de armazenamento (retirado de (28))...	67
Tabela 10 – Instrumentação associada ao painel de alta pressão (retirado de (28)).....	68
Tabela 11 – Instrumentação associada à unidade de enchimento de GNC (retirado de (28))	70
Tabela 12 – Mudanças de estado do fluido ao longo do processo.....	73
Tabela 13 – Caraterísticas do vaporizador ambiental da descarga (retirado de (28)).....	78
Tabela 14 – Condições básicas de projeto do reservatório de GNL (retirado de (28)).....	79
Tabela 15 – Caraterísticas do vaporizador ambiental (retirado de (28))	82
Tabela 16 – Caraterísticas do reservatório de THT (retirado de (28))	83
Tabela 17 – Caraterísticas do compressor de GN (retirado de (28)).....	85
Tabela 18 – Caraterísticas do armazenamento de GNC (retirado de (28))	87
Tabela 19 – Caraterísticas da unidade de enchimento de GNC (retirado de (28)).....	89
Tabela 20 – Preço de compressão de GNC através do compressor de GN instalado	93
Tabela 21 – Preço de compressão de GNC através de uma bomba de compressão	93
Tabela 22 – Composição do GN	104
Tabela 23 – Variação da temperatura do GN de acordo com a rede de distribuição.....	107
Tabela 24 – Composição do GNL	110

Página intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CLIG – Companhia Lisbonense de Iluminação a Gás

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EPI – Equipamento de proteção individual

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

GN – Gás Natural

GNC – Gás Natural Comprimido

GNL – Gás Natural Liquefeito

GNV – Gás Natural Veicular

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

HMI – *Human-Machine Interface*

IPQ – Instituto Português da Qualidade, I.P.

MEM - PI – Mestrado de Engenharia Mecânica - Produção Industrial

PEGNV – Posto de Enchimento de Gás Natural Veicular

PLC – *Programmable Logic Controller*

PRM – Postos de Regulação e Medida

REN – Redes Energéticas Nacionais

RNTGN – Rede Nacional de Transporte de Gás Natural

THT – Tetrahidrotiofeno

UAG – Unidade Autónoma de Gaseificação

Página intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

O presente projeto apresenta o trabalho desenvolvido ao longo da unidade curricular Projeto, integrado no curso de MEM - PI.

O objetivo principal do projeto consiste na demonstração da implementação de um posto de abastecimento de gás natural comprimido (GNC) a partir de gás natural liquefeito (GNL) para abastecimento de uma frota privada. Como tal, para contextualização, são abordados os vários tipos de gás natural (GN) e suas formas de utilização, o mercado de GN e as várias tipologias de postos de abastecimento.

O GN é um combustível fóssil com origem muito semelhante à do petróleo bruto, ou seja, forma-se durante milhões de anos a partir dos sedimentos de animais e plantas, podendo encontrar-se em jazidas subterrâneas. Apesar da semelhança quanto à origem com o petróleo, o GN não necessita de ser refinado, podendo ser utilizado na mesma forma como é extraído na origem. No entanto, também pode ser convertido em GNL após a sua extração, através do processo de liquefação, ou convertido em GNC através da compressão de GN ou de GNL (1).

O GN é constituído por pequenas moléculas de carbono e hidrogénio e, a sua combustão é mais limpa do que qualquer outro derivado do petróleo, libertando apenas dióxido de carbono e uma quantidade de óxidos de azoto muito inferior à que resulta da combustão dos outros combustíveis fósseis (1).

Após a extração de GN, este passa por unidades de processamento, nas quais são removidos alguns dos seus componentes, sendo posteriormente odorizado e transportado através de gasodutos. Por outro lado, o GN extraído pode ser encaminhado para unidades de liquefação, convertendo-o em GNL e transportado por camiões-cisterna ou navios metaneiros. Assim, o GN é distribuído ao consumidor final, podendo ser usado para diversas aplicações.

Enquanto recurso para abastecimento de veículos, o GN pode ser utilizado sob a forma de GNC ou GNL a partir de diferentes tecnologias e tipos de postos de abastecimento.

O presente projeto foi desenvolvido na empresa PRF – Gas Solutions, onde era necessária a renovação de parte da frota e inserção de um sistema automático que contabilizasse os abastecimentos ocorridos. Toda a frota de veículos utilizava o gasóleo como combustível, e a renovação dos veículos não passou só por uma simples substituição direta, mas também

pela troca do seu combustível para GNC. Ao substituir parte da sua frota de diesel por GNC, a empresa terá uma redução nos custos do combustível utilizado.

Deste modo, o objetivo principal consiste na implementação de uma instalação que permita o abastecimento das novas viaturas a GNC da empresa.

Para contornar os desafios impostos e obter uma solução viável, foi desenvolvida uma proposta de solução que passa pela:

- Definição e implementação de módulos de descarga, armazenamento e abastecimento;
- Desenvolvimento do sistema de controlo e instrumentação;
- Incorporação de um sistema de gestão de abastecimentos.

O posto de abastecimento de GNL-C implementado apresenta algumas diferenças em relação à configuração tradicional e, como tal, a sua montagem e funcionamento é distinta. Em particular, apresenta um vaporizador adicional associado ao reservatório de GNL, pelo que o processo de compressão ocorre depois da vaporização, contrariamente ao que acontece nos postos típicos. Além disso, a compressão do GN ocorre quando se encontra no estado gasoso, em vez de no estado líquido.

A disponibilidade de grande parte dos equipamentos utilizados foi também um motivo que impulsionou a implementação do posto, uma vez que permitiu o reaproveitamento dos materiais já existentes na PRF - Gas Solutions.

2. Utilização de Gás Natural

O GN é um combustível encontrado na natureza no estado gasoso, tendo a sua procura aumentado exponencialmente nas últimas duas décadas (2).

O GN é composto maioritariamente por metano (CH_4), com um teor acima de 70% e outros componentes como etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), pentano (C_5H_{12}) e outros gases residuais como azoto (N_2), sulfeto de hidrogénio (H_2S) e dióxido de carbono (CO_2), sendo estes dois últimos os gases contaminantes (2). Para informação mais detalhada acerca da composição do GN e das suas características, pode-se consultar o Apêndice A.

As aplicações do GN são variadas, utilizando-se em diversos setores. Entre estes incluem-se o setor da energia elétrica, produzindo eletricidade a partir de centrais termoelétricas, e o setor industrial, que utiliza o GN na cogeração e como matéria-prima para produção de produtos químicos, fertilizantes e hidrogénio. Além destes, incluem-se também o setor residencial, que usa o GN principalmente como aquecimento e na cozinha, e o setor do transporte, em que o GN é utilizado como combustível veicular na forma de GNL e GNC. Mais ainda, o setor comercial aproveita o GN para fornecer iluminação adicional, na cozinha, no aquecimento e em equipamentos de refrigeração (3) (4).

2.1 Economia

No presente capítulo serão abordados vários tópicos referentes ao impacto económico da utilização de GN à escala mundial. Os tópicos a tratar abrangem os dez maiores países a nível mundial, tendo como base a produção, consumo global, consumo *per capita*, exportações, importações e reservas, incluindo também os dados económicos referentes a Portugal (5) (6). De modo a simplificar os tópicos a abordar e a dinâmica entre eles, na Figura 1 é apresentado um fluxograma de como se desenvolve e processa o mercado do GN de uma forma simplificada.

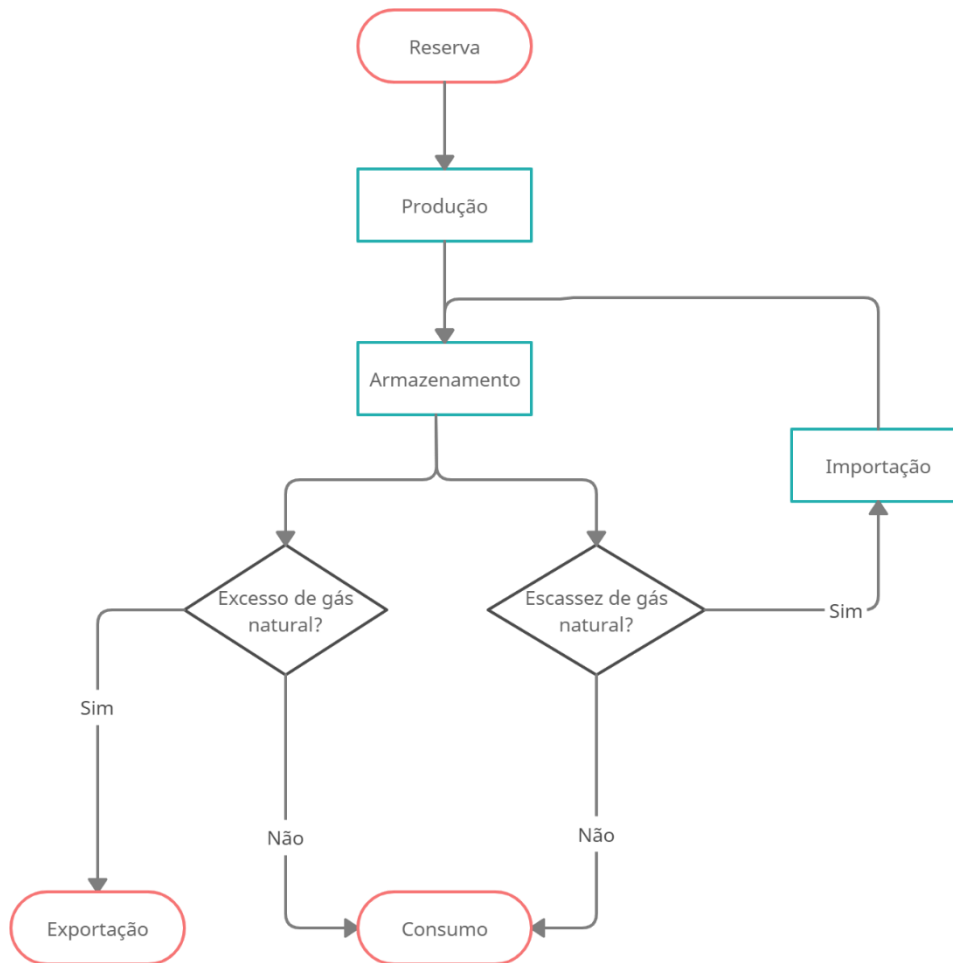


Figura 1 – Fluxo do mercado de GN

Os dados económicos supracitados são referentes ao ano de 2018 e estão representados em diferentes unidades (uns em m³ e outros em kWh), de forma a possibilitar uma leitura mais compreensível. Como tal, para comparação entre estas duas unidades, m³ e kWh, pode-se consultar o cálculo de conversão disponibilizado no Apêndice B.

2.1.1 Reservas Provadas

As reservas de GN foram descobertas por análise de dados geológicos e de engenharia, tendo sido verificadas as quantidades existentes em cada reserva. Se se verificar que determinada reserva obtém um alto grau de confiança para ser comercialmente recuperável, e tendo em conta as condições económicas, será explorada, dando-se início à produção de GN. Na Figura 2, é possível verificar os dez países a nível mundial que possuem as maiores reservas de GN. Conseguir-se observar que mesmo desde a 1^a posição, onde se encontra a Rússia, até

à 10ª posição, onde está a Argélia, existe uma grande diferença de volume nas reservas de GN. Porém, comparando a área territorial da Rússia e o seu volume de reservas de GN com a área territorial da Argélia e o seu volume, a proporção de GN/território é bastante semelhante. Estas reservas mencionadas são também utilizadas para a exploração de petróleo (5) (6).

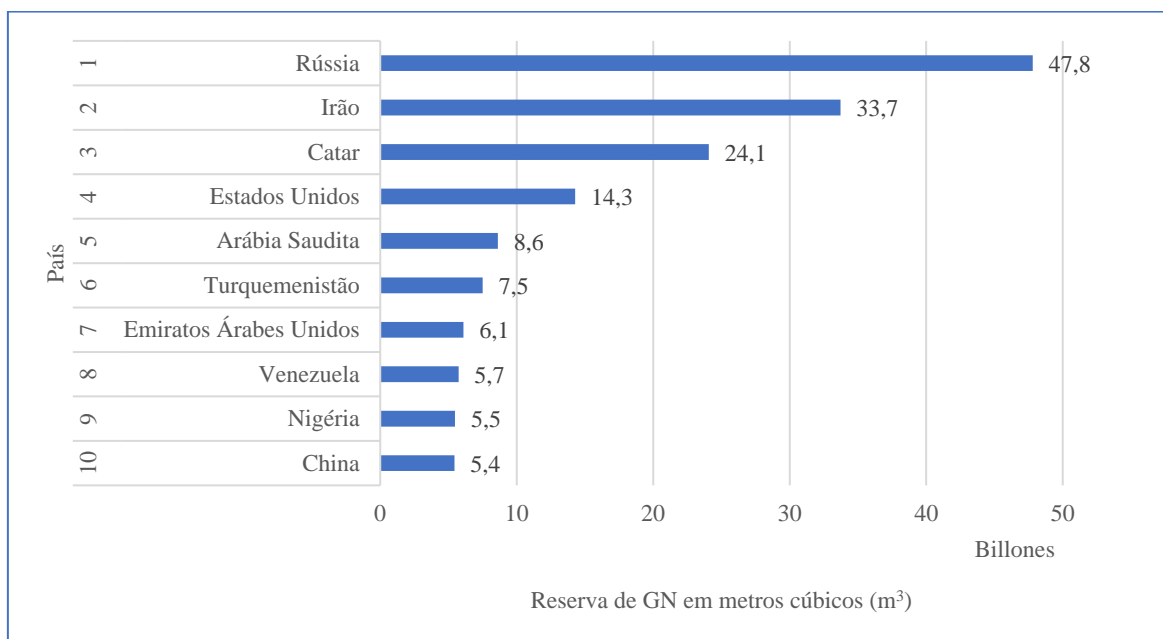


Figura 2 – Dez maiores reservas de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.2 Produção

A produção de GN é feita através da exploração e perfuração das reservas existentes, onde ocorre a separação do GN de outras partículas e a sua descontaminação. A produção tem como objetivo satisfazer as necessidades de consumo, todavia se não for o suficiente ou em caso de picos de consumo, recorre-se à importação para que o consumidor nunca seja afetado. O efeito contrário também é aplicável, pois caso haja um decréscimo no consumo, exporta-se o produto para onde este for requerido. Deste modo, entende-se que existe uma relação bastante próxima entre produção, importação, exportação e consumo, pois são estes os quatro principais fatores envolventes no mercado do GN (5) (6).

Na Figura 3, podem-se observar os dez países com a maior produção de GN a nível mundial, sendo possível verificar que seis destes maiores produtores encontram-se na listagem dos dez países com maiores reservas a nível mundial.

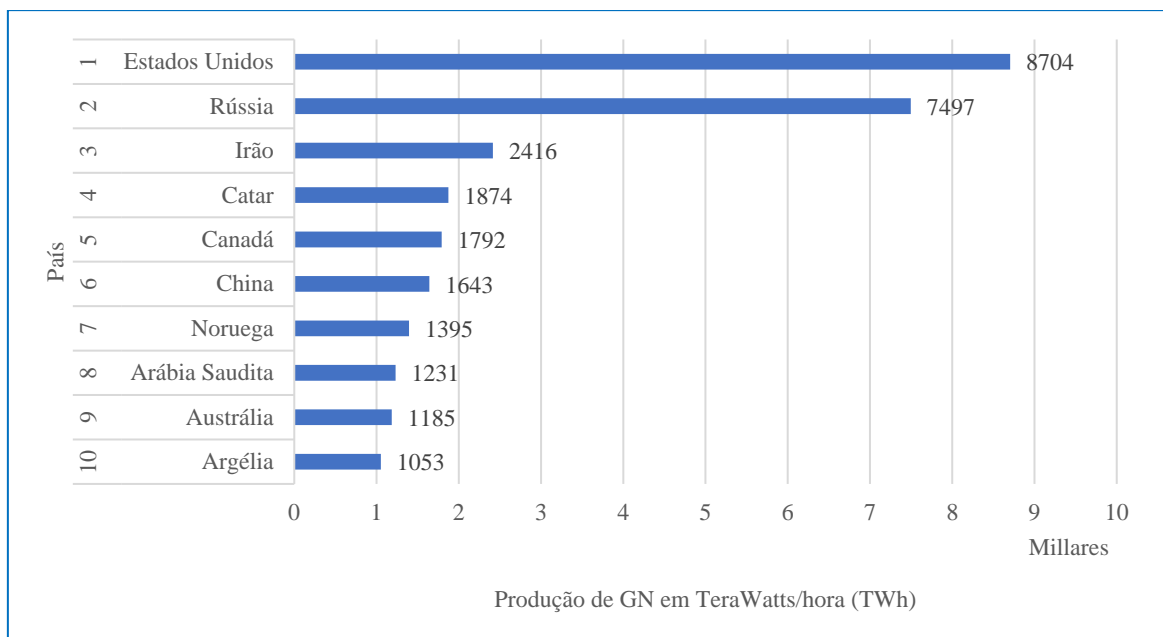


Figura 3 – Dez maiores produtores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.3 Consumo global

O consumo do GN pode ter muitas finalidades, nomeadamente na área dos transportes, através do uso em veículos, substituindo parcialmente o petróleo e o diesel pelo GN veicular. É utilizado também em residências, tanto para aquecimento como para a cozinha, sendo este tipo de consumo bastante comum. Outro setor que recorre ao GN é a indústria, utilizando este produto para climatização, processos de arrefecimento e aquecimento, cogeração, caldeiras industriais, entre outros. Na Figura 4 podem-se visualizar os dez países com maior consumo a nível mundial. Denota-se ainda que destes dez maiores consumidores, seis deles estão entre os que têm uma maior produção de GN a nível mundial (5) (6).

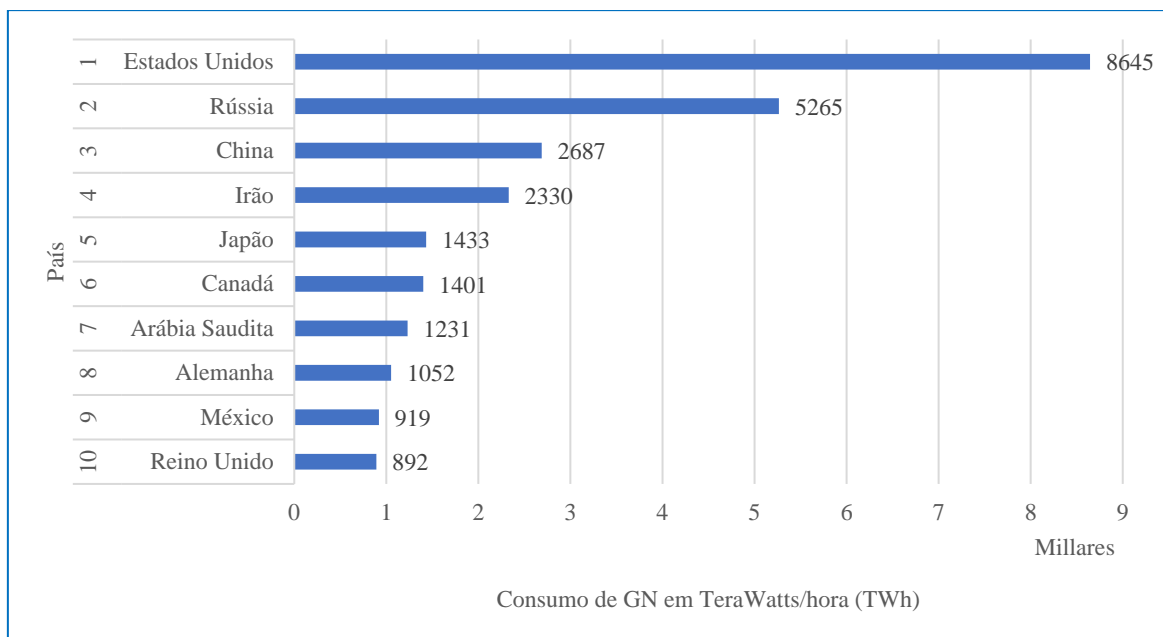


Figura 4 – Dez maiores consumidores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.4 Consumo *per capita*

Na Figura 5, estão ilustrados os dez países que têm um maior consumo de GN por habitante a nível mundial, onde é possível visualizar uma grande diferença entre o país na 1ª posição, Trindade e Tobago, e a Rússia, que ocupa a 10ª posição. É notável que a população de Trindade e Tobago, Catar e Barém utilizam bastante este recurso para que a média por habitante seja superior a 10 000 m³ (5) (6).

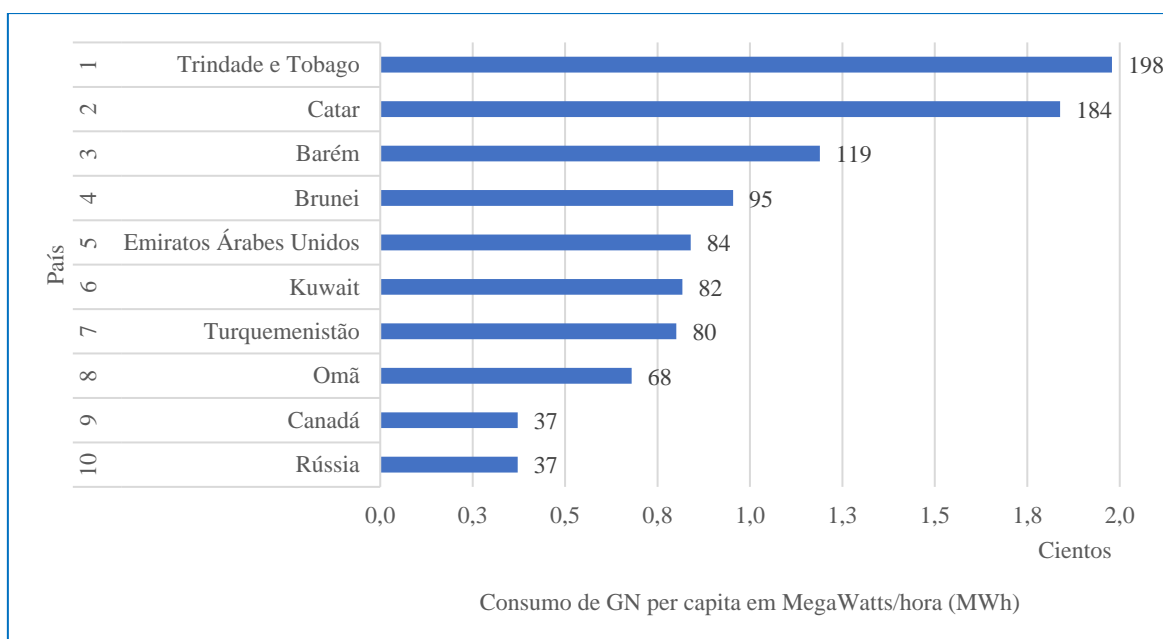


Figura 5 – Dez maiores consumidores *per capita* de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.5 Exportação

A exportação de GN, assim como de muitos outros produtos, é realizada, regra geral, quando se atinge o limite máximo de armazenamento, sendo escoado para outros países/consumidores, tanto por gasoduto como por via marítima. Devido às interligações de gasodutos existentes entre países é possível exportar e importar de modo a equilibrar/redirecionar o GN para onde é mais necessário (5) (6).

Na Figura 6 é possível observar os dez maiores exportadores de GN a nível mundial.

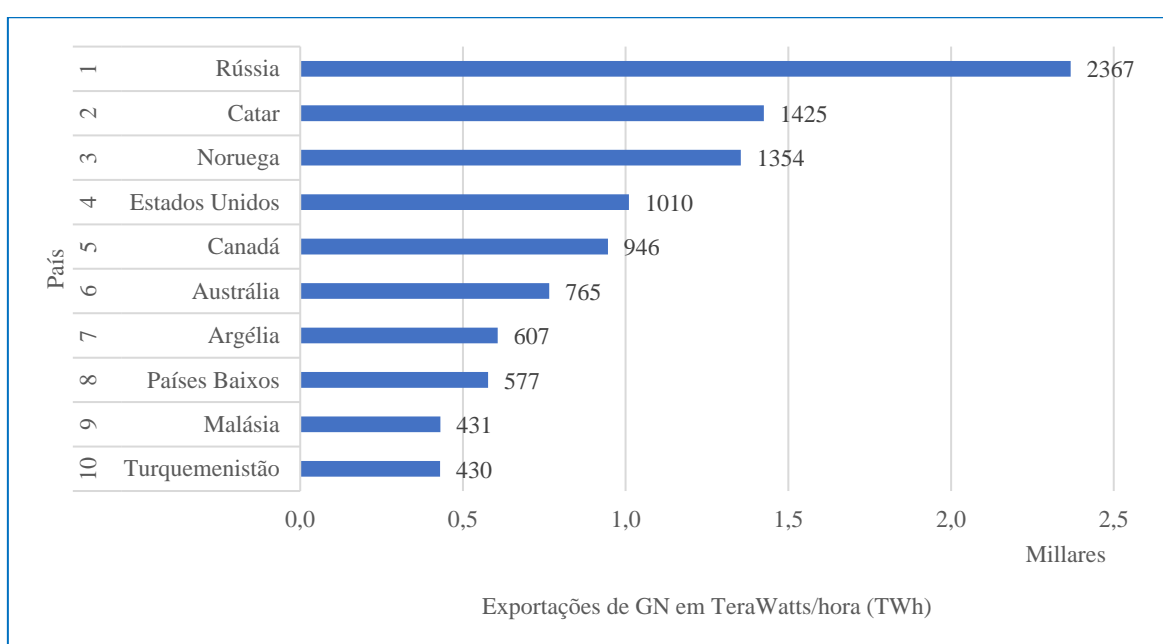


Figura 6 – Dez maiores exportadores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.6 Importação

A importação do GN deve-se à escassez do recurso no país requerente ou a picos de consumos momentâneos existentes que aumentam a necessidade de recorrer à importação. Na Figura 7 estão ilustrados os dez países que recorrem mais às importações de GN a nível mundial (5) (6).

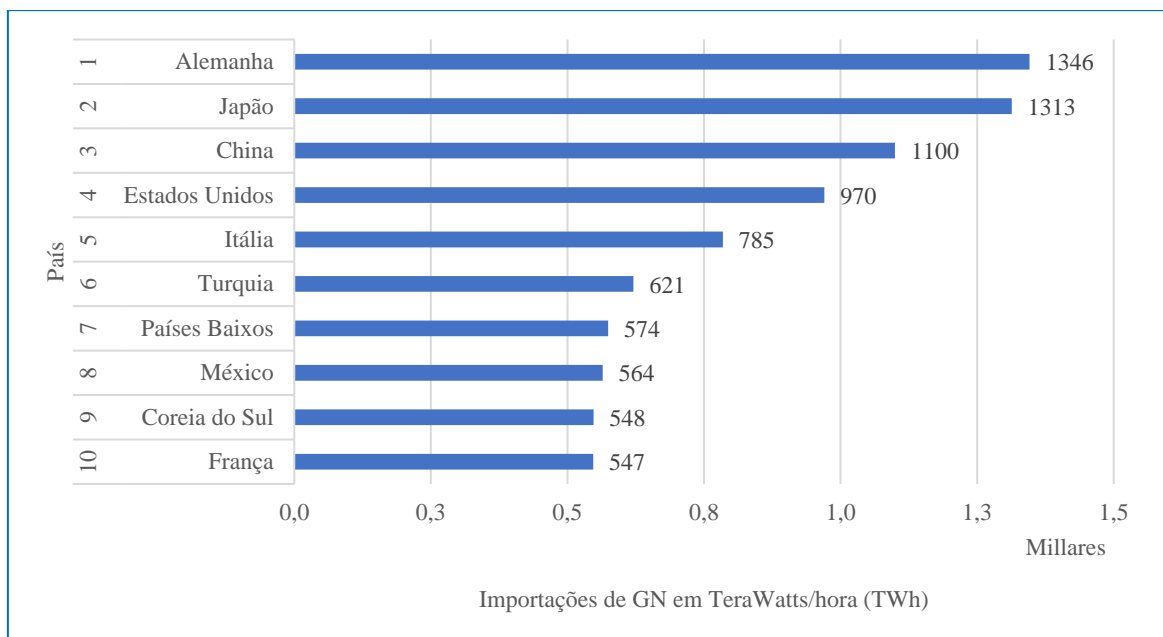


Figura 7 – Dez maiores importadores de GN no Mundo (retirado de (5) (6))

2.1.7 Dados económicos referentes a Portugal

No presente subcapítulo será feita uma análise quanto à importação, exportação e consumo de GN em Portugal. No entanto, as reservas de GN não serão um tópico abordado devido à inexistência das mesmas em Portugal, sendo necessário recorrer à importação, tanto por via marítima como também pelos gasodutos transfronteiriços com Espanha. Por via marítima, o GN entra no país pelo terminal portuário de Sines na sua forma liquefeita, daí o nome terminal de GNL. Por gasodutos, o GN pode ser importado para a rede portuguesa em dois locais distintos, Campo Maior e Valença (7).

Na Figura 8, pode-se observar a importação de GN em Portugal efetuada entre 2008 e 2018, perfazendo um total de 604 TWh o que equivale a 57 251 184 834 m³, sendo 54% destas importações efetuadas através de gasodutos e os restantes 46% representam as importações de GNL (7).

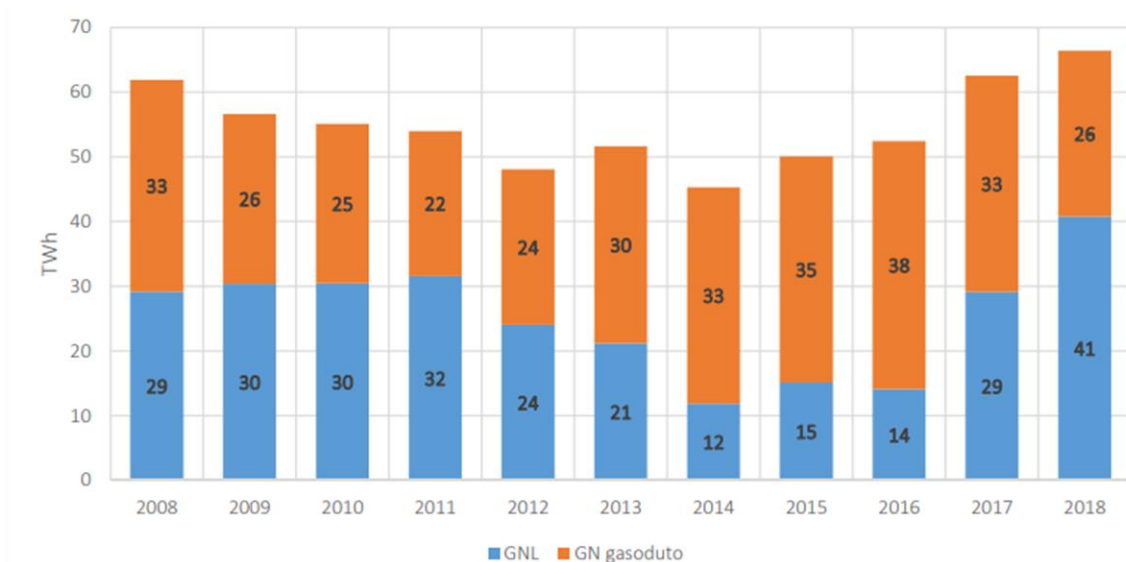


Figura 8 – Volumes de importação de GN (retirado de (7))

Em 2018, Portugal importou um volume de GN de 67 TWh, em que 41 TWh (61%) do volume total proveio de GNL entregue no terminal de Sines e os restantes 26 TWh (39%), chegou a Portugal através das interligações transfronteiriças com Espanha. Pode-se verificar que nos anos anteriores a 2018, quando existiu um menor consumo de GN, deu-se prioridade à entrada de GN através de gasoduto (7).

Em 2018, o consumo de GN em Portugal foi de 6 257 999 872 m³ o que equivale a 70 TWh, ocupando, assim, a 16^a posição a nível europeu dos maiores consumidores de GN e a média de consumo por cada habitante português foi de 607 m³ equivalente a 6,8 MWh (7).

Com base no volume total a ser importado e na forma de importação, gasoduto e/ou GNL, apresentados na Figura 8, é possível observar na Figura 9 de onde é proveniente o GN em Portugal. Numa primeira análise, verifica-se que existem bastantes países que fornecem GN a Portugal, o que revela uma grande diversidade nas origens de aprovisionamento. Até 2013, nota-se uma enorme presença de Espanha e da Nigéria na origem de aprovisionamento. Se compararmos a Figura 8 com a Figura 9, referente ao ano 2018, pode-se verificar que os 26 TWh importados por gasoduto são referentes à importação feita do país contíguo, Espanha, e os restantes 41 TWh chegaram ao terminal de Sines na forma de GNL da Nigéria. Pode-se notar também que neste intervalo de tempo, 2008 a 2018, Espanha é a origem de aprovisionamento comum, sendo bastante importante as interligações transfronteiriças com Espanha (7).

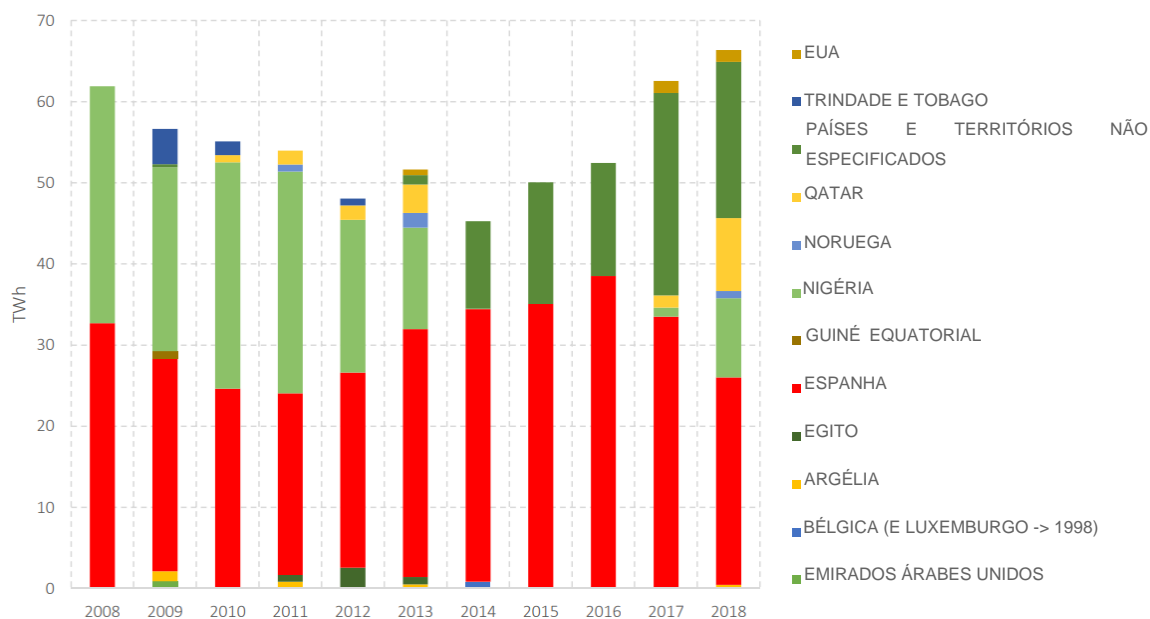


Figura 9 – Volumes de importação de GN por país (retirado de (7))

Na Figura 10 é possível analisar a evolução do preço médio associado à importação do GN em Portugal, tanto de forma total como de forma independente, ou seja, somente GNL ou GN de gasoduto. O valor económico total no período em análise associado às importações é de cerca de 13 267 milhões de euros, sendo que as importações referentes ao GNL (42%) equivalem a 5 544 milhões de euros, enquanto as importações referentes por gasoduto (58%), equivalem a 7 722 milhões de euros (7).

Entre 2008 e 2018, o preço médio de aquisição do GNL foi de 19,95 €/MWh, 3,73 €/MWh inferior ao preço médio de aquisição de GN proveniente por gasoduto a partir de Espanha, 23,68 €/MWh, devido à existência de uma maior competitividade no mercado de GNL do que no de GN por gasoduto, o que reflete uma enorme vantagem em adquirir GNL. Quanto ao preço médio associado ao aprovisionamento do ponto vista global, este foi de 21,96 €/MWh, em que o ano em que atingiu um preço mais baixo foi em 2016, tendo um custo de 16,75 €/MWh, e em 2014 atingiu o preço mais elevado, no valor de 29,67 €/MWh (7).

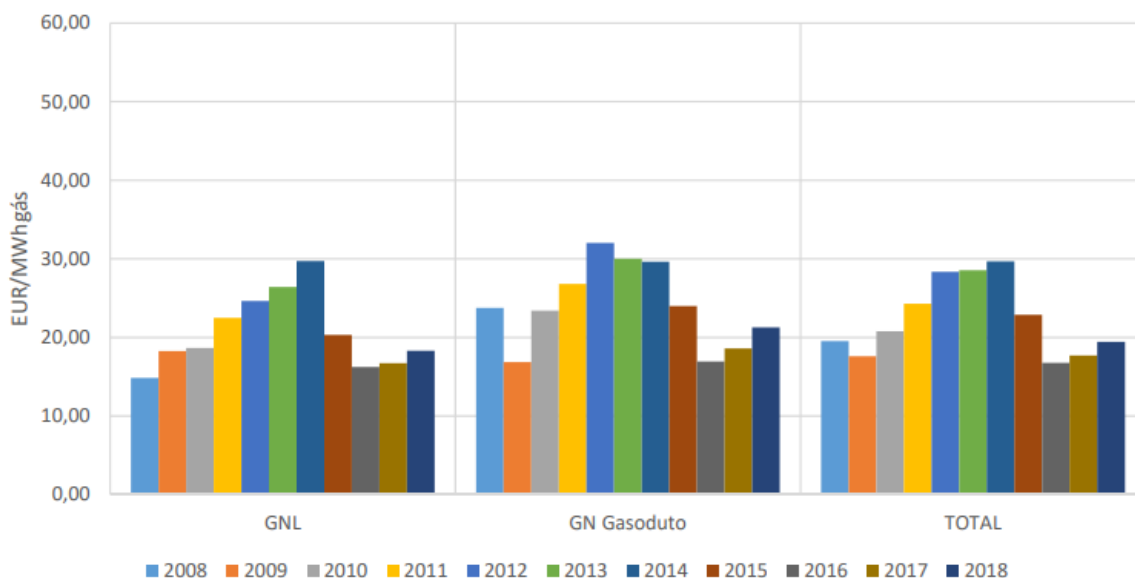


Figura 10 – Preço médio na importação de GN (retirado de (7))

Visto que 2014 foi o ano com o preço mais elevado, se analisarmos em particular cada tipo de aprovisionamento de GN, verifica-se que o preço do GNL esteve elevado relativamente aos outros anos, com um custo de 29,71 €/MWh, e semelhante ao preço do GN por gasoduto, no valor de 29,61 €/MWh. Visto ter sido o ano em que o custo do GNL estava mais alto face aos outros anos, explica a razão pela qual Portugal adquiriu a maior parte de GN (73%) através dos gasodutos interligados com Espanha (7).

Analisando também o ano mais recente presente na Figura 10, 2018, o preço médio de aquisição de GN proveniente por gasoduto a partir de Espanha foi de 21,26 €/MWh, ou seja, 2,95 €/MWh superior ao preço médio de aquisição de GNL. Deste modo, verifica-se que Portugal fez um aprovisionamento eficiente nesse ano, pois analisando juntamente com os dados da Figura 8, o maior aprovisionamento de GN (61%) foi através de via marítima, ou seja, GNL (7).

Quanto à exportação de Portugal, de seguida, analisa-se de igual forma o volume, o preço e os países de aprovisionamento de GN.

A Figura 11 reflete o volume de exportações que Portugal efetuou entre o período de 2008 a 2018 e, numa primeira análise, verifica-se que é bastante reduzida, que pode ser explicada pela inexistência de reservas de GN em Portugal (7).

O volume exportado entre 2008 e 2018 totalizou 14,6 TWh, em que 67% desse volume foi exportado por gasoduto e os restantes 33% exportados por via marítima sob a forma de GNL. Em 2008, a exportação de GN atingiu os valores mais elevados registados no período analisado, perfazendo um volume de 8,8 TWh, em que 91% desse volume foi exportado por gasoduto e os restantes 9% por via marítima. Contrariamente, neste período, verificaram-se alguns anos em que não existiu exportação como 2015, 2016 e 2017. Porém, em 2010 e 2011 ocorreu exportação, embora mínima, não sendo visível devido ao facto de a escala de valores ser em TWh (7).

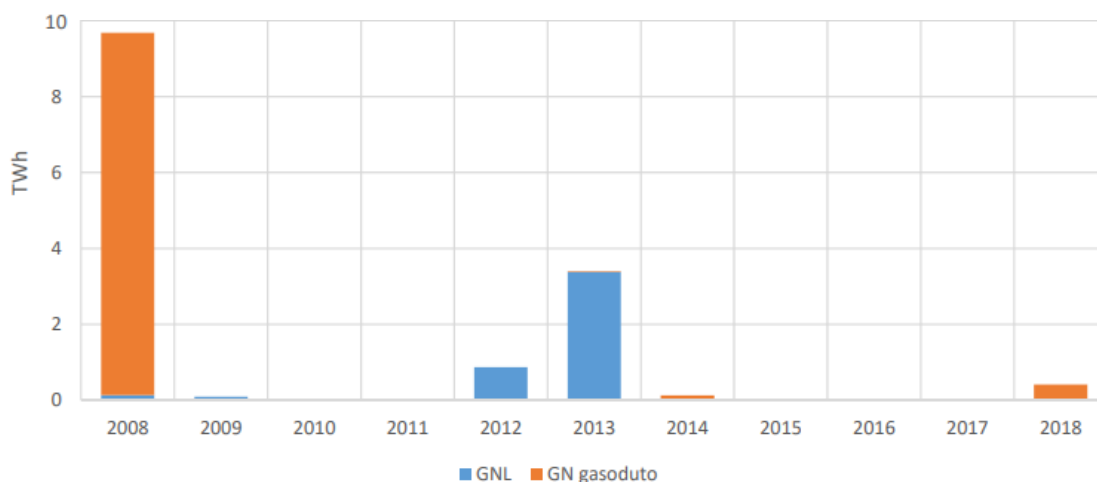


Figura 11 – Volumes de exportação de GN (retirado de (7))

Após um período sem praticamente qualquer exportação, em 2012 e 2013, é perceptível através da Figura 11, uma subida nas exportações. Contudo, nestes anos foram as exportações de GNL a terem um crescimento, principalmente em 2013 ao atingir os 3,4 TWh de GN. Em 2018, voltou a existir um pequeno pico nas exportações, sendo exclusivamente de GN por gasoduto (7).

Na Figura 12, podem-se visualizar para que países foram efetuadas as exportações decorridas entre 2008 e 2018. Em 2008, a maioria do GN exportado foi direcionado para Espanha, semelhante ao ocorrido em 2018, em que a totalidade de GN exportado teve como destino o país contíguo. Em 2012, praticamente todo o seu volume foi exportado para o Brasil e em 2013 foi exportado para EUA, Kuwait e Brasil (7).

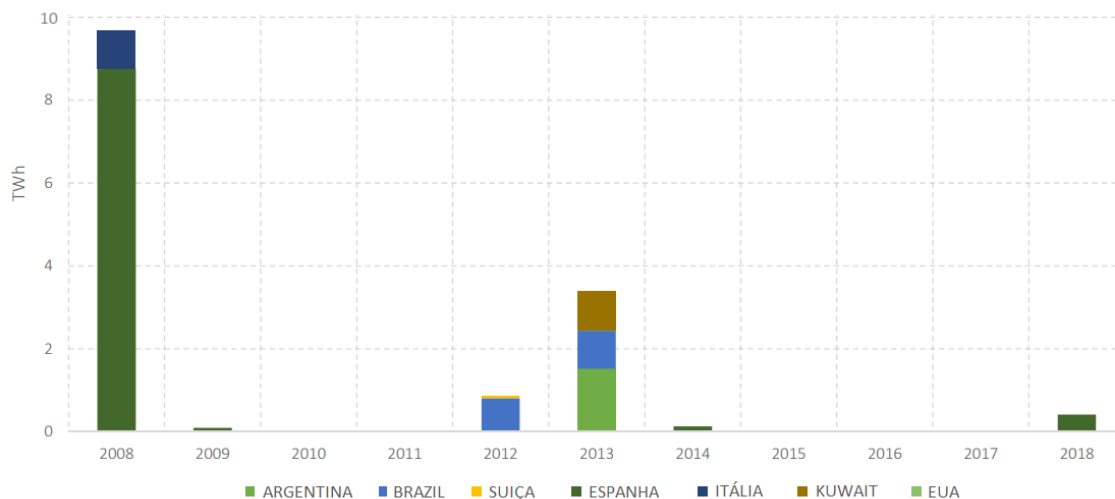


Figura 12 – Volumes de exportação de GN por país (retirado de (7))

O valor económico total associado às exportações é de cerca de 380 milhões de euros, sendo que o peso mais significativo diz respeito à exportação de GNL, perfazendo 58% da exportação o que equivale a 222 milhões de euros, enquanto a exportação por gasoduto conta com 42%, equivalente a um valor de 158 milhões de euros (7).

Na Figura 13, observa-se a evolução do preço médio de GN entre 2008 e 2018, verificando-se que o preço médio de venda de GN por gasoduto foi de 22,02 €/MWh, inferior ao preço médio de venda do GNL com um valor de 34,94 €/MWh. O preço médio global para o volume exportado foi de 26,01 €/MWh, conseguindo Portugal um preço médio de venda superior ao de compra, 21,96 €/MWh (7).

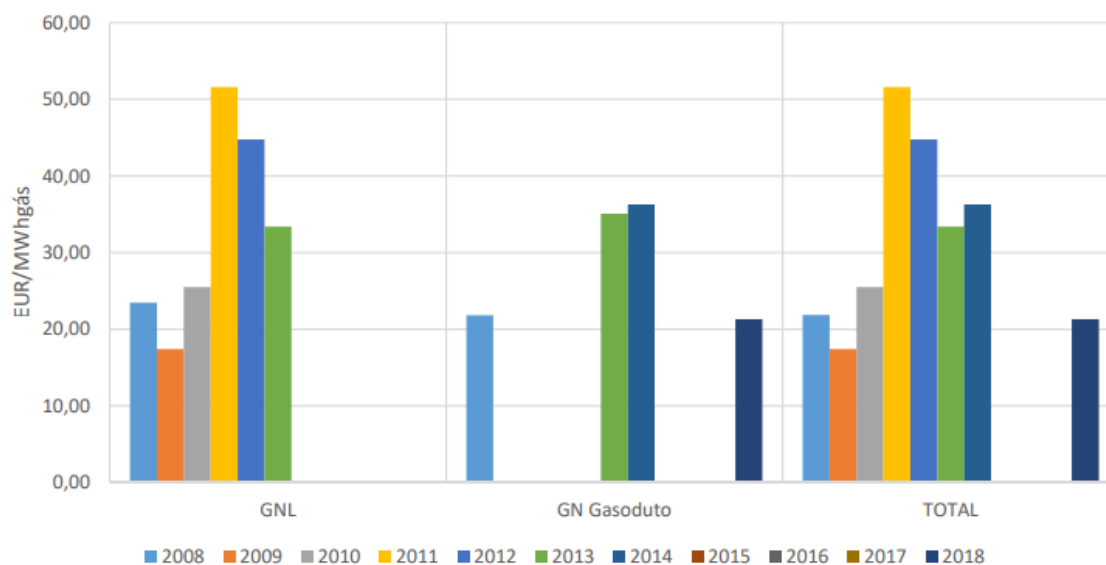


Figura 13 – Preço médio na exportação de GN (retirado de (7))

Em 2011, apesar do pequeno volume de exportação, denotou-se um aumento significativo do preço de venda atingindo os 51,60 €/MWh, tendo sido exportado exclusivamente o GNL para a Suíça (7).

Em 2013, a exportação, praticamente só de GNL, decorreu a um preço de 33,37 €/MWh e a restante quantidade mínima exportada, praticou-se a um valor de 35,06 €/MWh, resultando numa média de 33,4 €/MWh (7).

Em 2018, o preço associado à venda de GN por gasoduto a Espanha foi de 21,31 €/MWh, semelhante ao preço do GN importado, de 21,26 €/MWh, nas mesmas condições de importação (país e forma de aprovisionamento) (7).

2.2 Gás natural no Mundo

A maior parte do GN retirado do subsolo tem milhões e milhões de anos. Antes do conhecimento do GN e da sua utilização, o gás que escapava da crosta terrestre através de fissuras era visível sob a forma de incêndios, que naquela altura eram atribuídos a origem divina. Por volta de 500 a.C., os chineses deram início à sua utilização como fonte de energia térmica. Apenas em 1626, surgiu o conhecimento sobre o GN e a sua ocorrência natural no subsolo e, mais tarde, sobre o seu transporte de forma segura e relativamente fácil através de gasodutos desde a fonte subterrânea, para ser utilizado para fins práticos. A Grã-Bretanha foi o primeiro país a comercializar o uso de GN, produzido inicialmente a partir do carvão. No entanto, esse gás manufacturado era muito menos eficiente e menos ecológico do que o GN que vem do subsolo (8).

Em 1807 acenderam-se, pela primeira vez no mundo, candeeiros a GN num espaço público, na londrina Rua Pall Mall (9). Durante a maior parte do século XIX, o GN foi usado quase exclusivamente como fonte de luz e produzido a partir do carvão. Nos finais do século XIX, com o advento da eletricidade, as lâmpadas de GN foram convertidas em lâmpadas elétricas, o que levou os produtores de GN a procurarem novos usos para este recurso (8).

Em 1885, Robert Bunsen inventou o que hoje é conhecido como o bico de Bunsen. Ele conseguiu criar um dispositivo que misturava GN com ar nas proporções certas, criando uma chama que poderia ser usada com segurança para cozinhar e aquecer. Com esta invenção, surgiram novas oportunidades para o uso do GN em todo o mundo (8).

Um dos primeiros grandes gasodutos foi construído em 1891, sendo que não era muito eficiente no transporte de GN. Apenas na década de 1920 se iniciou a construção de infraestruturas de gasodutos, o que permitiu o transporte do GN, facilitando a sua obtenção e tornando-se uma opção de energia cada vez mais popular. Isto proporcionou novos usos para o GN, nomeadamente aquecimento doméstico e aparelhos como aquecedores de água, fornos e placas de fogão a gás e ainda gerar eletricidade a partir de caldeiras (8).

Por volta de 1800, já tinham sido feitas as primeiras experiências com GNL, mas apenas em 1900 é que surgiram as primeiras indústrias com foco no GNL. A primeira planta experimental foi projetada em 1912, na Virgínia, EUA, com o intuito de armazenar GNL. Em 1941, foi concebida a primeira planta de liquefação comercial com armazenamento de GNL em tanques de pressão atmosférica normal nos EUA. Em 1959, o mercado de GNL expandiu, efetuando-se o primeiro transporte experimental realizado a partir do Golfo da Louisiana (EUA) em direção ao Reino Unido (10).

Só cinco anos após o primeiro transporte experimental, em 1964, é que se concretizou o primeiro embarque comercial de GNL, com partida na Argélia e destino ao Reino Unido e França. No ano de 1969, ocorreram outros transportes, desta vez entre a Argélia e França, Líbia e Itália e Espanha e Japão, sendo que este foi o primeiro projeto na região do Pacífico (10).

Entre 1972 e 1978, os EUA ingressaram no mercado de GNL, construindo quatro plantas de regaseificação. Em meados dos anos 90, houve uma ascensão dos mercados da Europa e da América do Norte (10).

Nos anos 2000, o mercado de GNL cresceu exponencialmente. Entre 2000 e 2011, o crescimento médio anual foi de 7,5%, superando os 300 mil milhões de metros cúbicos em estado gasoso (10).

Em 2008, a maior transportadora de GNL, Mozah, tinha uma capacidade para 266.000 m³, transportando GNL do Catar para a Europa e dos EUA para o Extremo Oriente. No ano de 2013, a importação do GNL na Ásia aumentou consideravelmente, representando cerca de 75% das importações mundiais. Em 2014, o mercado global de GNL comemorou 50 anos de história, com cerca de 80.000 transferências sem acidentes significativos (10).

2.3 Gás natural em Portugal

O primeiro sistema de gás iluminante em Portugal foi implementado em 1846, ano em que foi atribuída a concessão de iluminação pública de Lisboa à Companhia Lisbonense de Iluminação a Gás (CLIG), 39 anos depois de se acender, pela primeira vez no mundo, candeeiros a gás num espaço público (9).

Em 1899, a rede de gás canalizado da Grande Lisboa estendeu-se até Cascais, Oeiras e Sintra. No ano de 1944 foi oficialmente inaugurada a fabrica de gás da Matinha, em Cabo Ruivo, Lisboa com uma capacidade de produção diária de 75 000 m³/dia de gás de hulha e, uma década mais tarde, iniciou-se a produção de gás de petróleo liquefeito (GPL) na refinaria de Cabo Ruivo (9).

Em 1989, tendo por missão o fornecimento de GN ao país, foi fundada a GDP - Gás de Portugal, S.A. Após quatro anos, foi criada a Transgás - Sociedade Portuguesa de Fornecimento de Gás Natural, S.A., atualmente designada Galp Gás Natural, S.A., que nesse mesmo ano assinou contrato de concessão com o Estado Português de importação, transporte, armazenamento e fornecimento de GN. No ano seguinte, iniciou-se a construção do gasoduto de alta pressão entre Setúbal e Braga (9).

Em 1998, em parceria com a LisboaGás, a Carris inaugurou a rota para a Expo '98 com o primeiro autocarro movido a GN e no ano seguinte, a Galp Gás Natural, S.A comprou a primeira carga de GNL (9).

No ano de 2000, começou-se a preparar a construção do terminal de GNL de Sines e, após dois anos, deu-se início à construção do gasoduto Setúbal-Sines (9).

Em 2003, o terminal de GNL de Sines entrou em operação, apesar de a sua inauguração oficial ter ocorrido somente em 2004. Também nesse respetivo ano se inaugurou a Central de Ciclo Combinado do Carregado (9).

No ano de 2006, a Redes Energéticas Nacionais (REN) passou a assumir a titularidade dos ativos regulados de GN e foram inauguradas as cavernas salinas para armazenamento de GN no Carriço, Pombal. Nesse mesmo ano, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) aprovou a regulação do setor (9).

No ano de 2012, concluíram-se as obras de ampliação do Terminal de GNL de Sines, tendo sido incorporado um terceiro tanque de armazenamento de GNL com uma capacidade de 150.000 m³ (9) (11).

Em 2014 iniciou-se a construção de dois postos de abastecimento de GN veicular na Azambuja e em Matosinhos, destinados ao abastecimento de veículos pesados de mercadorias com recurso a GNL e a veículos ligeiros com recurso a GNC (9).

Em 2020, Portugal já conta com 18 postos de abastecimento de gás natural veicular (GNV), sendo que apenas dois destes postos operam em regime privativo (12).

2.4 Origem

O GN teve origem há milhões de anos, formando camadas espessas na superfície da terra e no fundo do oceano, devido à decomposição de restos de plantas e animais. Ao longo dos anos, essas camadas foram sobrepostas por areia, silte e rocha, em que a pressão e o calor transformaram parte desse material rico, composto por carbono e hidrogénio em carvão, originando GN (3).

Assim, o GN é uma fonte de energia fóssil que se forma nas profundezas da superfície da Terra, contendo diferentes componentes. O maior componente do GN é o metano, um composto com um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogénio (CH₄), porém ainda existe na sua composição outros hidrocarbonetos e não hidrocarbonetos, como dióxido de carbono e vapor de água (3).

Existem vários tipos de GN, dependendo do seu tipo de extração e de processamento. Os vários tipos de GN são o convencional, o não convencional, o associado, o metano da camada de carvão e o renovável (3) (13).

O GN convencional é encontrado em grandes fendas e espaços entre as camadas de rocha subjacente, podendo ser encontrado em terra como também no fundo do oceano. Para que o GN convencional seja explorado, é necessário saber a localização dos poços e se é rentável, pelo que o primeiro passo a dar é recorrer a um estudo geológico. Os geólogos estudam a estrutura e os processos que formam a Terra, localizando os tipos de formações geológicas que possivelmente contêm depósitos de GN convencional. Os geólogos recorrem habitualmente a pesquisas sísmicas em terra e no oceano para encontrar os lugares certos para perfurar poços de GN. Assim que a pesquisa sísmica estiver concluída e se a qualidade

e a quantidade de GN forem suficientes e favoráveis para produzir lucro, um poço exploratório é perfurado e testado. O GN convencional habitualmente extrai-se fácil e diretamente do poço até a superfície, podendo ser perfurado na vertical ou na horizontal (3).

O GN não convencional ou gás de xisto é originado em espaços minúsculos dentro de algumas formações de xisto, arenito e outros tipos de rocha sedimentar. O GN não convencional extrai-se maioritariamente a partir de formações de xisto, através do processo de fraturamento hidráulico ou *fracking*. Este processo consiste na injeção a alta pressão de uma mistura de água, areia e produtos químicos, com o intuito de aumentar as fissuras existentes na formação rochosa, de modo a libertar o GN, permitindo que flua para o poço e consequentemente até à superfície (3).

O GN associado pode ser explorado e extraído a partir de depósitos de petróleo bruto (3).

O GN conhecido como metano da camada de carvão é extraído a partir de depósitos de carvão (3).

O GN renovável é, de todos os tipos de GN, o mais moderno e mais limpo, traduzindo-se em emissões de dióxido de carbono nulas. Este tipo de gás foca-se num ciclo contínuo, começando maioritariamente pela recolha de resíduos orgânicos urbanos e de aterros, transporte para esses resíduos para uma unidade de tratamento, onde é obtido o GN renovável. Esse GN renovável é o combustível utilizado nos veículos que transportam os resíduos orgânicos, tornando-se assim um ciclo limpo e renovável (13).

Na Figura 14, consegue-se visualizar de forma mais detalhada, o processo do GN desde a sua origem até ao seu consumo final.

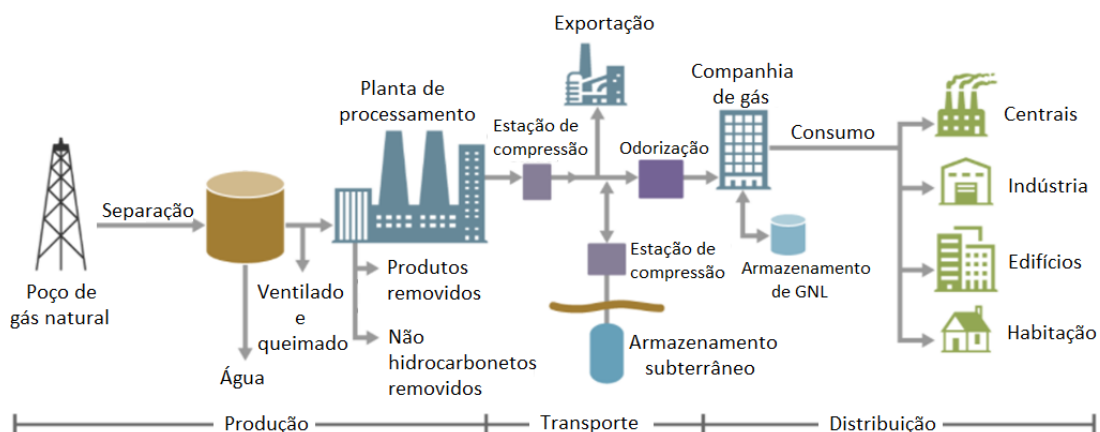


Figura 14 – Rede de GN (adaptado de (3))

O GN é extraído do poço e colocado em gasodutos, sendo enviado para as unidades de processamento. Antes de o GN entrar na etapa de transporte, são removidos os não hidrocarbonetos, a água e alguns hidrocarbonetos do GN (etano, propano, butano e pentano), permanecendo ainda assim uma pequena quantidade destes juntamente com o GN (3).

O GN é transportado a alta pressão, existindo na linha de transporte estações de compressão para o efeito e uma estação de odorização, pois o GN é inodoro. Após a etapa de transporte, o GN pode seguir várias direções, tais como ser armazenado em cavernas subterrâneas, ser direcionado para outros gasodutos após venda ou ser transportado até às concessionárias de GN. A concessionária de determinada região realiza a distribuição conforme o consumo solicitado a partir de gasodutos de média e baixa pressão. Existe um leque diversificado de consumidores, desde as centrais termoelétricas, a indústria, os edifícios até à habitação. Ainda existe a possibilidade de injetar na rede de distribuição GN a partir de um armazenamento de GNL, sendo este regaseificado e injetado na rede para consumo.

2.5 O setor do gás natural

Atualmente todo o GN consumido em Portugal provém de países terceiros, existindo duas formas de aprovisionamento, por gasoduto de alta pressão e por via marítima, sob a forma de GNL (14).

Na Figura 15 é possível visualizar as possíveis entradas de GN em Portugal, sendo que nos dois pontos de interligação, Valença do Minho e Campo Maior, os gasodutos de alta pressão estão conectados à rede espanhola/europeia onde o GN se encontra no seu estado gasoso (14). A outra opção de entrada de GN em Portugal é por via marítima através do terminal de GNL em Sines, que recebe o GN no seu estado líquido e é armazenado nos três tanques criogénicos com uma capacidade máxima de 390 000 m³ de GNL (11) (14). Quanto ao armazenamento subterrânea localizada no Carriço, consiste em quatro cavernas subterrâneas com a capacidade de armazenar 177 milhões de m³ de GN (14).



Figura 15 – Pontos de entrada de GN em Portugal (retirado de (14))

O GN proveniente dos gasodutos de alta pressão é transferido para os ramais de média pressão passando por postos de regulação e medida (PRM). Só a jusante dos PRM, é que as empresas de distribuição têm acesso às redes de média e de baixa pressão, fornecendo o GN aos consumidores finais, sendo a distribuição realizada ao abrigo de concessões e licenças concedidas pelo Estado Português. Estas redes de distribuição são instaladas habitualmente por baixo das bermas das estradas e dos passeios, sendo assim o GN distribuído junto dos consumidores (14).

Existem ainda redes de distribuição abastecidas a partir de Unidades Autónomas de Gaseificação (UAG) que recebem GNL proveniente do terminal de Sines através de camiões-cisterna. Habitualmente, as UAG encontram-se localizadas em regiões onde os gasodutos não têm capacidade de ligação próxima (14).

2.6 Vantagens e desvantagens do gás natural

As vantagens associadas ao GN são várias, destacando-se o facto de ser o combustível fóssil mais limpo de todos, uma vez que emite menos poluentes, e ser mais barato comparando também aos restantes combustíveis (15) (16). Além destas vantagens, ainda existe uma facilidade de entrega direta nas habitações e indústria com recurso às redes de distribuição e é mais seguro em caso de fuga, pois é mais leve que o ar, dissipando-se rapidamente. Mais ainda, o GN também apresenta uma maior abundância comparativamente às reservas de petróleo e produtos semelhantes e é mais eficiente em relação ao gás propano, pois fornece um pouco mais energia por kg quando ocorre a sua combustão (15) (17).

Quanto às desvantagens do GN, as suas reservas naturais são limitadas, pelo que é considerado uma fonte de energia não renovável, e é inodoro e incolor, necessitando de um odorante, por forma a ser detetado em caso de fuga. Embora, em caso de fuga, o GN seja mais leve que o ar e se dissipe rapidamente, é, porém, uma substância altamente inflamável, podendo causar incêndios e explosões, devendo ser utilizado cuidadosamente. Apesar de ser o combustível fóssil mais limpo, emite uma menor quantidade de dióxido de carbono, mas que acaba por contribuir também para o efeito de estufa. As infraestruturas associadas ao GN, tanto no transporte como no processamento, têm um custo bastante elevado (15) (17).

Apesar de todas as desvantagens apresentadas, o GN é um dos combustíveis fósseis mais baratos e disponíveis no mundo, podendo considerar-se uma alternativa viável comparativamente aos outros combustíveis fósseis (15). Porém, está a ser desenvolvido a utilização do GN renovável, explicado no subcapítulo 2.6.

2.7 Gás natural renovável

O GN renovável engloba o biometano e o GN sintético. O biometano apresenta uma composição semelhante ao GN, sendo um gás constituído substancialmente por metano (85-95%) obtido a partir do biogás, após remoção de dióxido de carbono e de impurezas (siloxanos, sulfeto de hidrogénio, entre outros). O biogás resulta da degradação natural de matéria orgânica em resíduos da agricultura, resíduos municipais, plantas, esgoto ou resíduos alimentares (18).

O GN sintético (*power-to-gas*) é produzido com energia excedente de parques eólicos ou painéis solares por meio de um processo químico (19).

As duas principais vantagens deste tipo de GN são o facto de ser renovável e o facto de ter um impacto reduzido para o aquecimento global e mais baixo na emissão de poluentes, apresentando consequentemente, menor degradação na qualidade do ar (19). A grande vantagem do gás natural renovável é devida à sua utilização num ciclo contínuo. Este ciclo passa por recolher os resíduos, levá-los a uma unidade de tratamento, de forma a obter-se o GN renovável, que será injetado na rede e utilizado como combustível nos camiões de recolha de resíduos, como demonstrado na Figura 16. Com este processo contínuo consegue-se um resultado de reduzidas emissões de partículas e de também de quase zero emissões de dióxido de azoto (NO_2), um componente crítico para a saúde (13).

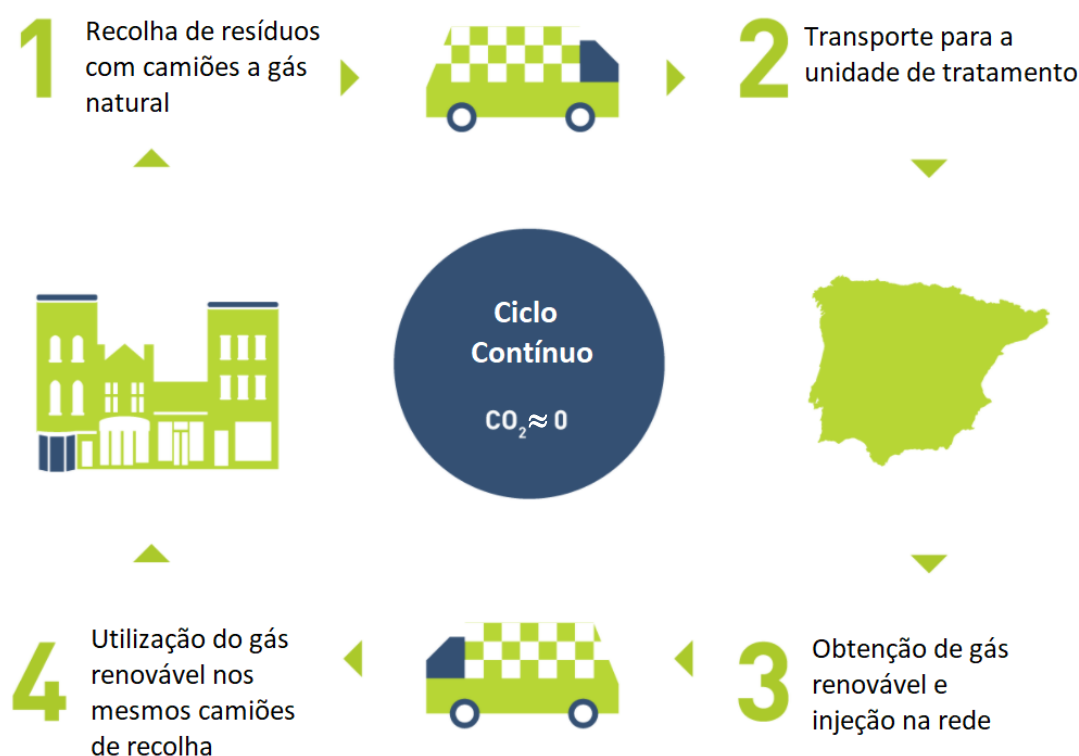


Figura 16 – Ciclo contínuo de GN renovável (retirado de (13))

Este tipo de ciclo contínuo é particularmente vantajoso nas áreas urbanas, uma vez que são zonas com maiores índices de poluição, pelo que a sua utilização se traduz numa eficiente redução da poluição ambiental (19).

Existem várias associações que impulsionam o uso de GN renovável, destacando-se a Gasnam, que é associação ibérica de GN para a mobilidade, e a NGVA *Europe*, que promove a utilização de GN e GN renovável como combustível para transportes.

2.8 Gás natural liquefeito

O GNL tem origem no GN, em que este sofre um processo de liquefação. A liquefação pode ser realizada por diferentes métodos e processos, recorrendo ao uso de ciclos de refrigeração. Este processo liquefaz o GN reduzindo o seu volume em 600 vezes relativamente ao seu volume ocupado à temperatura ambiente e à pressão atmosférica normal (20).

O GNL, à pressão atmosférica normal, tem uma temperatura aproximadamente de -160°C , sendo por isso um líquido criogénico puro. É incolor, inodoro e apresenta uma densidade aproximada de 45% da densidade da água. É um líquido não corrosivo e não tóxico, constituído essencialmente por metano e etano (entre 85 e 95%), não existindo os gases contaminantes dióxido de carbono e sulfeto de hidrogénio, pois foram removidos no processo de liquefação. O GNL tem uma temperatura de autoignição de 540°C , sendo inflamável com 5 a 15% em base volumétrica numa mistura de ar (20). Para informação mais detalhada acerca da composição do GNL e das suas características, pode-se consultar o Apêndice C.

A tecnologia *Air-Product* é a mais utilizada no mercado de GNL a nível mundial, reconhecida há mais de 40 anos pela sua eficiência, flexibilidade, confiabilidade e custos (20) (21).

Em Portugal não existe nenhuma unidade de liquefação, porém existe um terminal de receção de GNL em Sines, como se pode observar na Figura 17. É por este terminal que é introduzido o GNL em Portugal através de via marítima por navios metaneiros com grande isolamento térmico. O terminal de Sines conta assim com uma estação de acostagem para navios até $216\,000\text{ m}^3$ GNL, três reservatórios de armazenamento com uma capacidade total instalada de $390\,217\text{ m}^3$ e três baías de enchimento de camiões-cisterna para abastecimento de UAG distribuídas pelo país. Contém ainda as instalações de regaseificação com uma capacidade de expedição nominal de $900\,000\text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$, com uma capacidade de expedição máxima até $1\,350\,000\text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$, totalizando uma capacidade de regaseificação de 8 mil

milhões de $m^3(n)/ano$. Após a regaseificação o GN é dirigido para a Rede Nacional de Transporte de Gás Natural (RNTGN) (14).



Figura 17 – Terminal de receção de GNL em Sines (retirado de (14))

2.8.1 Cadeia integrada de GNL

A cadeia integrada de GNL é composta por 5 etapas: a exploração, a liquefação, o transporte em navios metaneiros, o armazenamento e a distribuição (20) (22), como se pode visualizar na Figura 18.

A primeira etapa consiste na extração de GN, direcionando-o para o gasoduto de forma a ser recebido no terminal de liquefação (22).

A segunda etapa compreende a liquefação, reduzindo assim o GN 600 vezes em relação ao seu estado gasoso devido ao seu arrefecimento até aproximadamente a uma temperatura de $-160^{\circ}C$. A sua redução de volume é uma das suas principais características, o que permite transportar um maior volume de GNL, reduzindo assim os custos de uma etapa importante na cadeia de GNL. A liquefação contém um rendimento médio de 90%, ou seja, os restantes 10% são perdidos ou utilizados como fonte de energia para o processo (20).

Seguidamente, a terceira etapa consiste no transporte de GNL por navios metaneiros, que se podem categorizar em dois tipos: os “de membrana” e os “de esferas”. A capacidade dos navios metaneiros ronda os $150\ 000\ m^3$, podendo chegar aos $250\ 000\ m^3$. Durante o

transporte, com os movimentos do navio e as mudanças de temperatura, perde-se cerca de 5% do GNL, que passa do seu estado líquido para o estado gasoso, conhecido como “*boil off*” (20).

Assim que o navio metaneiro chega ao seu local de destino, é executada a transferência para os reservatórios de armazenamento de GNL, que corresponde à quarta etapa (22).

A última etapa caracteriza-se pela distribuição, existindo uma grande diversificação no método de entrega ao consumidor final. A partir dos reservatórios de armazenamento, o GNL pode ser entregue diretamente a uma unidade de regaseificação ou transportado quer por caminhões quer por via marítima (20) (22).

Na unidade de regaseificação, o GNL é convertido em GN e introduzido na rede de transporte de GN do país a que se destina, na qual o volume do GN aumenta 600 vezes ao passar do estado líquido ao estado gasoso. O GN é comprimido à pressão correspondente à da rede de transporte pelos gasodutos. Nesta etapa, o rendimento é superior às etapas supracitadas, rondando os 98%, ou seja, apenas 2% do GNL é utilizado nos equipamentos na regaseificação (20).

Quanto ao transporte de GNL por caminhão, este pode ser direcionado para diferentes aplicações, como postos de abastecimento de GNL e de GNL-C, abastecimento de estações de *bunkering* e até mesmo abastecimento a navios movidos a LNG. Em todas estas aplicações existe um *skid* de transferência entre o caminhão e instalação/equipamento alvo. Quanto à transferência de caminhões para navios, esta pode ser efetuada através de 2 sistemas, *Truck To Ship* (TTS) ou *Multi Truck to Ship* (MTTS), em que o sistema TTS consiste em um só caminhão abastecer o navio a GNL. O sistema MTTS, supera o sistema usual TTS, pois o abastecimento é mais rápido devido ao fornecimento de GNL em simultâneo de vários caminhões para o navio a GNL (23).

O transporte de GNL por via marítima desde os reservatórios de armazenamento é levado a cabo por embarcações de pequena escala, transportando o GNL até estações de *bunkering* ou abastecendo diretamente navios movidos a GNL. Além disso, os navios movidos a GNL podem também ser abastecidos através de uma estação de *bunkering* (24).

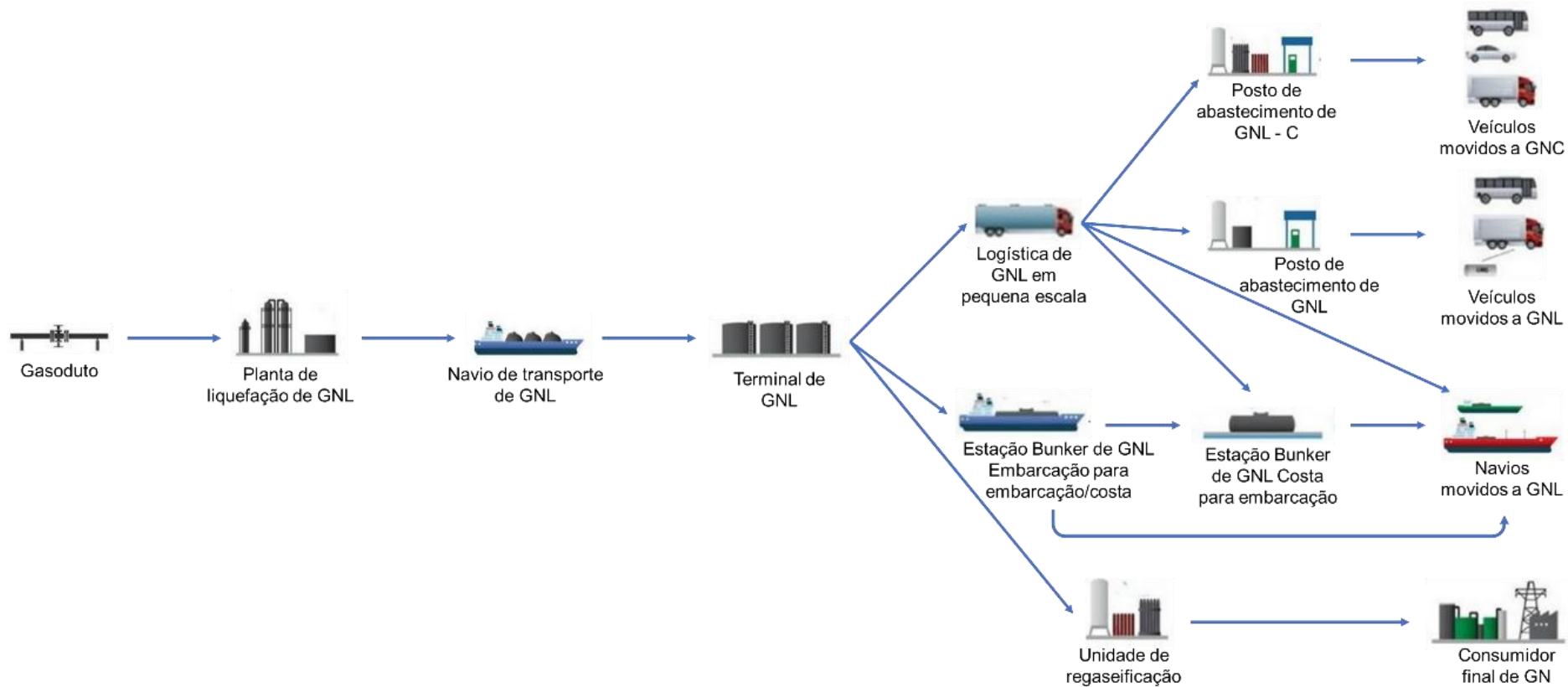


Figura 18 – Cadeia integrada de GNL (adaptado de (24))

2.8.2 Processo de liquefação

O GN extraído diretamente do poço é colocado em gasodutos e direcionado até ao terminal de liquefação. Assim que o GN é recebido no terminal, este passa por um processo de estabilização e condensação, onde são removidos os condensados, e por um processo onde são eliminados os gases ácidos, nomeadamente dióxido de carbono (CO_2) e sulfeto de hidrogénio (H_2S). A remoção dos gases ácidos é feita antes e depois do processo de pré-arrefecimento. Após a etapa de remoção dos gases ácidos, segue-se a etapa com dois processos, desidratação e remoção de mercúrio. O processo de desidratação remove a água presente no GN de modo a evitar que o GN congele no processo de liquefação. Este processo transforma assim GN húmido em GN seco através do uso de filtros absorventes de malha molecular. Nesta mesma etapa, ocorre a remoção de mercúrio por forma a evitar a corrosão do alumínio presentes nos permutadores de calor, com recurso ao carvão ativado nas torres de adsorção. De seguida, é feito o pré-arrefecimento, sucedido pelo fracionamento, onde ocorre a separação dos hidrocarbonetos. Destes, o metano e o etano, seguem para o processo de liquefação e de novo sub arrefecimento, originando assim GNL. Os outros hidrocarbonetos separados, propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), são posteriormente utilizados na produção de GPL (20). O ciclo completo deste processo acima descrito encontra-se esquematizado na Figura 19.

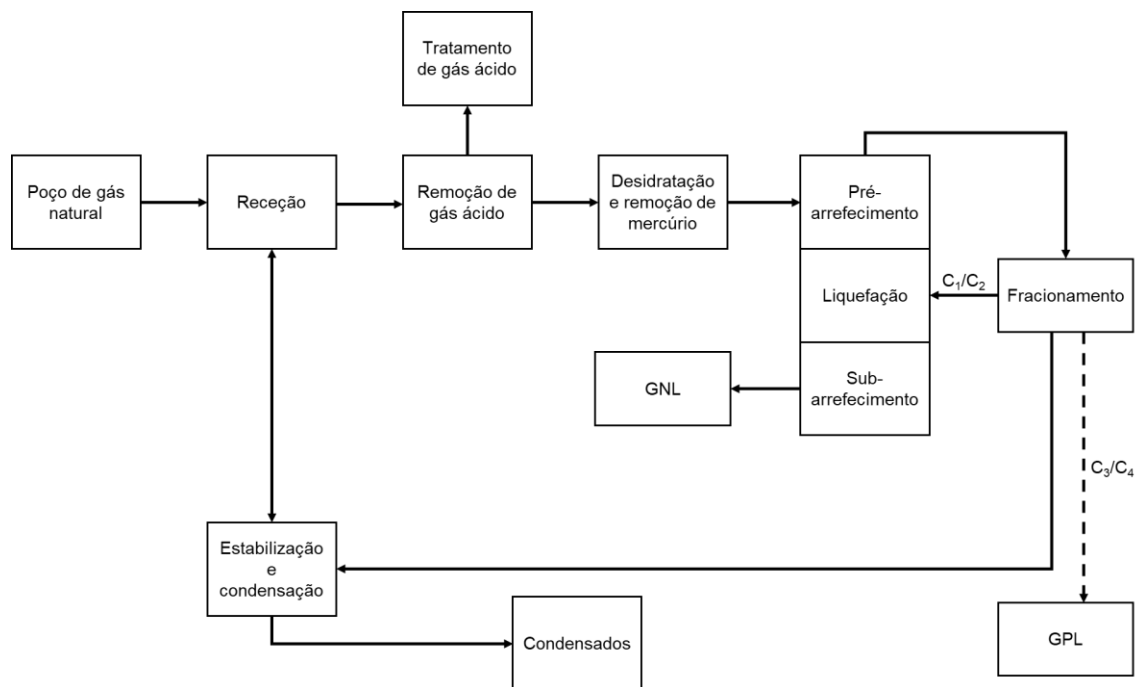


Figura 19 – Processo de liquefação do GN (adaptado de (20))

2.8.3 Vantagens e desvantagens do GNL

O GNL apresenta diversas vantagens, entre as quais, a redução de volume após o processo de liquefação para 600 vezes inferior ao GN, o que facilita o seu transporte em comparação com outros combustíveis. O facto de apresentar também um menor volume que o GNC, torna-o uma escolha mais adequada para veículos com elevado consumo de combustível. Outra vantagem do GNL é que durante o processo de condensação são removidas as impurezas presentes no GN (dióxido de carbono, enxofre, vapor de água, entre outros), o que o torna mais limpo que o GN. O GNL não é tóxico nem corrosivo e apresenta uma densidade energética 2,4 vezes superior à do GNC (25).

Quanto às desvantagens, o GNL é tipicamente obtido através de origem fóssil, sendo por isso não renovável e, quando utilizado em veículos, não fornece uma autonomia tão elevada como outros combustíveis convencionais. Outro aspeto negativo associado ao GNL é o facto de as infraestruturas necessárias para a sua produção, armazenamento e distribuição serem muito dispendiosas. Outra desvantagem é que, apesar de ser mais limpo do que os outros combustíveis fósseis, ainda assim a sua combustão liberta dióxido de carbono, monóxido de carbono e outros componentes tóxicos, contribuindo para a poluição ambiental. Além disso, o GNL é inodoro, o que pode dificultar a sua deteção em caso de fuga (25).

2.8.4 Interligação do mercado de GN e GNL

Conhecendo as etapas de processamento do mercado de GN e do mercado de GNL em específico, na Figura 20 pode-se visualizar a agregação destes dois mercados e como eles funcionam simultaneamente. Pela análise da Figura 20, pode-se compreender que a partir de uma fonte de GN, este recurso pode ser direcionado para diferentes processos. O GN que é transportado por gasodutos e permanece no seu estado natural (gasoso), é fornecido diretamente aos consumidores finais, nomeadamente, indústria, edifícios, centrais termoelétricas e habitação. Por outro lado, o GN que é transportado através de gasodutos também pode ser transformado em GNL numa unidade de liquefação, com destino ao abastecimento de camiões, autocarros, navios, entre outros. Além disso, o GN também pode ser diretamente encaminhado para um terminal de liquefação, transformando-se em GNL, que é exportado por via marítima em navios metaneiros. Ao chegar ao terminal de importação, o GNL é distribuído sobre a forma de GNL para navios, camiões, autocarros,

entre outros, ou direcionado para uma unidade de regaseificação, convertendo-se de novo em GN, que é utilizado em edifícios, indústrias, habitação e centrais termoelétricas (3).

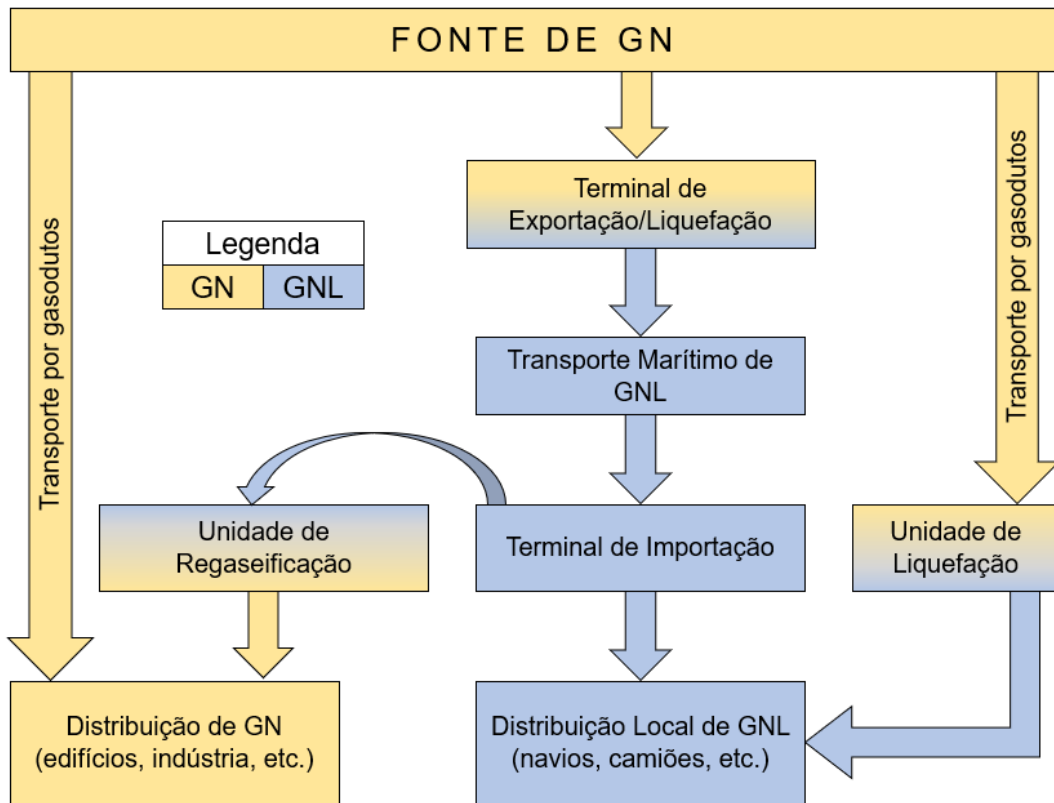


Figura 20 – Interligação do mercado de GN e GNL (adaptado de (26))

2.9 Gás natural comprimido

O GNC é produzido através da conversão do GN convencional para menos de 1% do volume que este ocupa a uma pressão atmosférica normal. O GNC é armazenado (em recipientes rígidos, normalmente cilindros metálicos) e distribuído a uma pressão entre 200 e 248 bar (27). Na Figura 21, observa-se um modelo representativo de um veículo a GNC juntamente com os seus principais componentes.

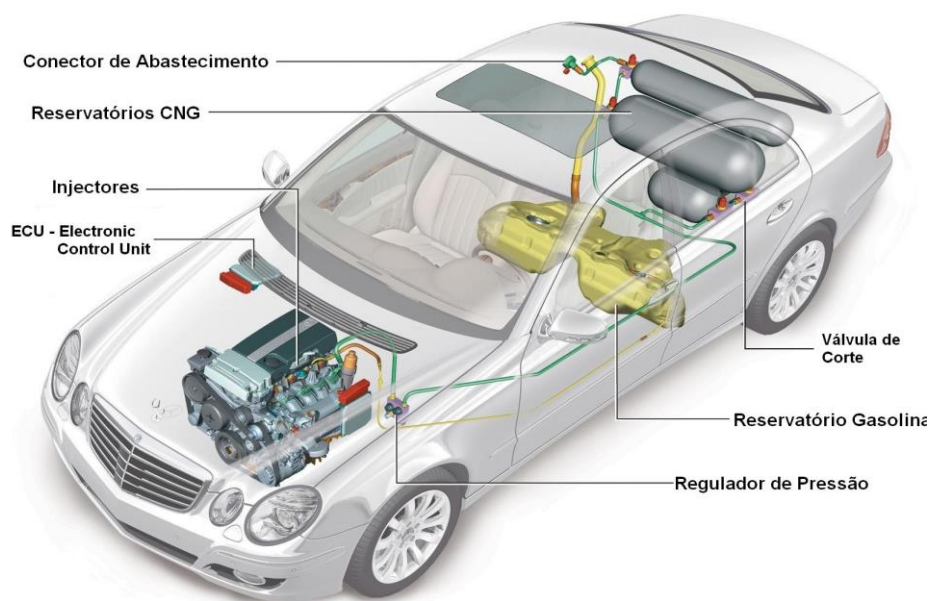


Figura 21 – Veículo a GNC e os seus principais componentes (retirado de (28))

Além da forma de obter GNC a partir da forma convencional, rede de distribuição, é também possível obtê-lo a partir de GNL, sendo estas duas tipologias de abastecimento explicadas com mais detalhe no capítulo 3.

O GNC é maioritariamente utilizado no setor do transporte, nomeadamente em veículos ligeiros, autocarros e alguns veículos pesados de mercadorias (29).

2.9.1 Tecnologias de abastecimento de GNC

Para o abastecimento de veículos a GNC, existem várias tecnologias, nomeadamente, o abastecimento rápido, lento e combinado (30).

O abastecimento rápido consiste em postos de abastecimento de GNC, que permitem o abastecimento rápido do veículo, com uma duração inferior a 5 minutos, semelhantes aos combustíveis convencionais. Este tipo de abastecimento encontra-se em postos de abastecimento público. Tradicionalmente, o processo para obter GNC requer essencialmente, uma rede de baixa pressão de GN, um compressor de alta pressão, cilindros para armazenar o GNC e uma unidade de enchimento para abastecer o veículo, como se pode visualizar na Figura 22 (30).

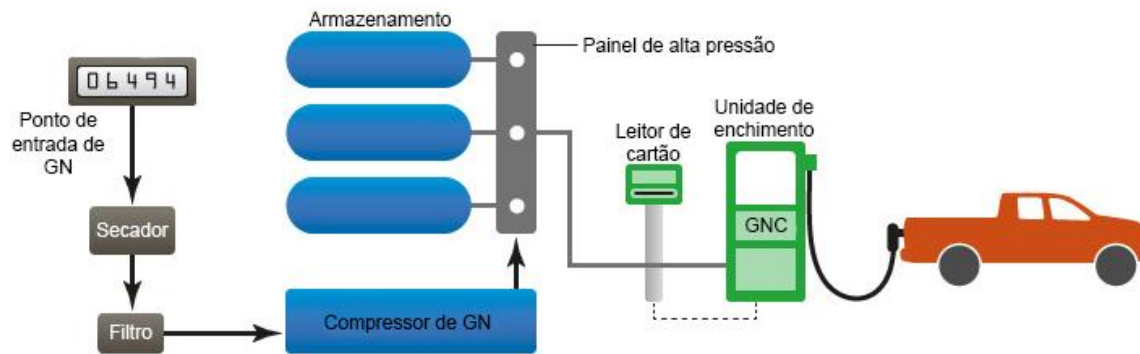


Figura 22 – Estação de abastecimento rápido (retirado de (30))

O abastecimento lento abrange geralmente veículos que permaneçam no posto de abastecimento durante um longo período, entre vários minutos a muitas horas. A longa duração de abastecimento torna-se irrelevante, uma vez que este tipo de abastecimento é mais comumente utilizado em frotas privadas e normalmente durante o período noturno. Neste tipo de produção de GNC não são utilizados cilindros para o armazenamento, abastecendo-se o veículo diretamente do compressor, existindo somente entre o compressor e o veículo um *buffer*, com o objetivo de evitar arranques e paragens desnecessárias do compressor. Dependendo da frota a abastecer a potência do compressor é adaptada, de forma a dar uma resposta adequada. Na Figura 23, pode-se ver com mais detalhe o conceito de abastecimento lento e os seus principais componentes (30).

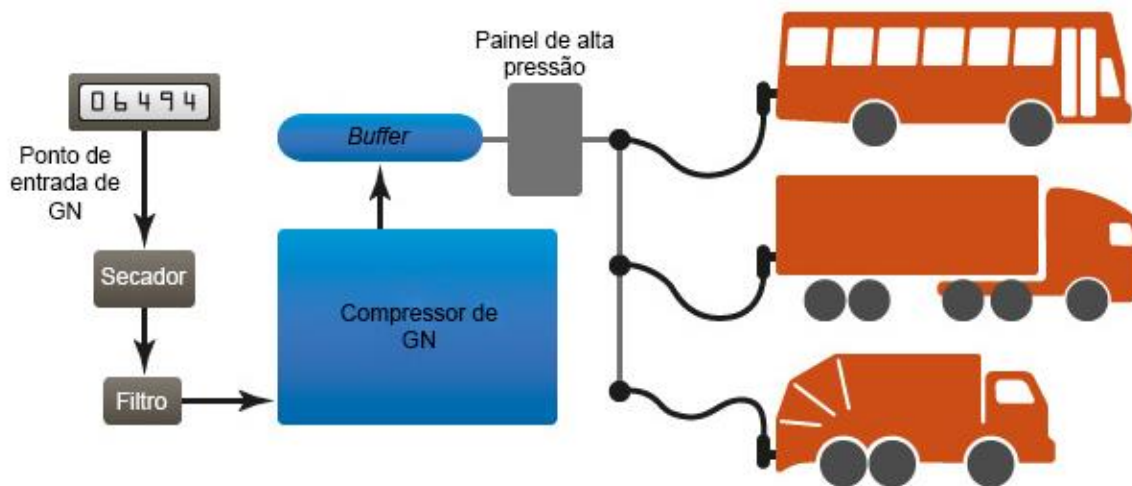


Figura 23 – Estação de abastecimento lento (retirado de (30))

O abastecimento combinado, Figura 24, consiste numa combinação entre o abastecimento rápido e lento, podendo assim haver uma flexibilidade de abastecimento dependendo da necessidade do consumidor (30).

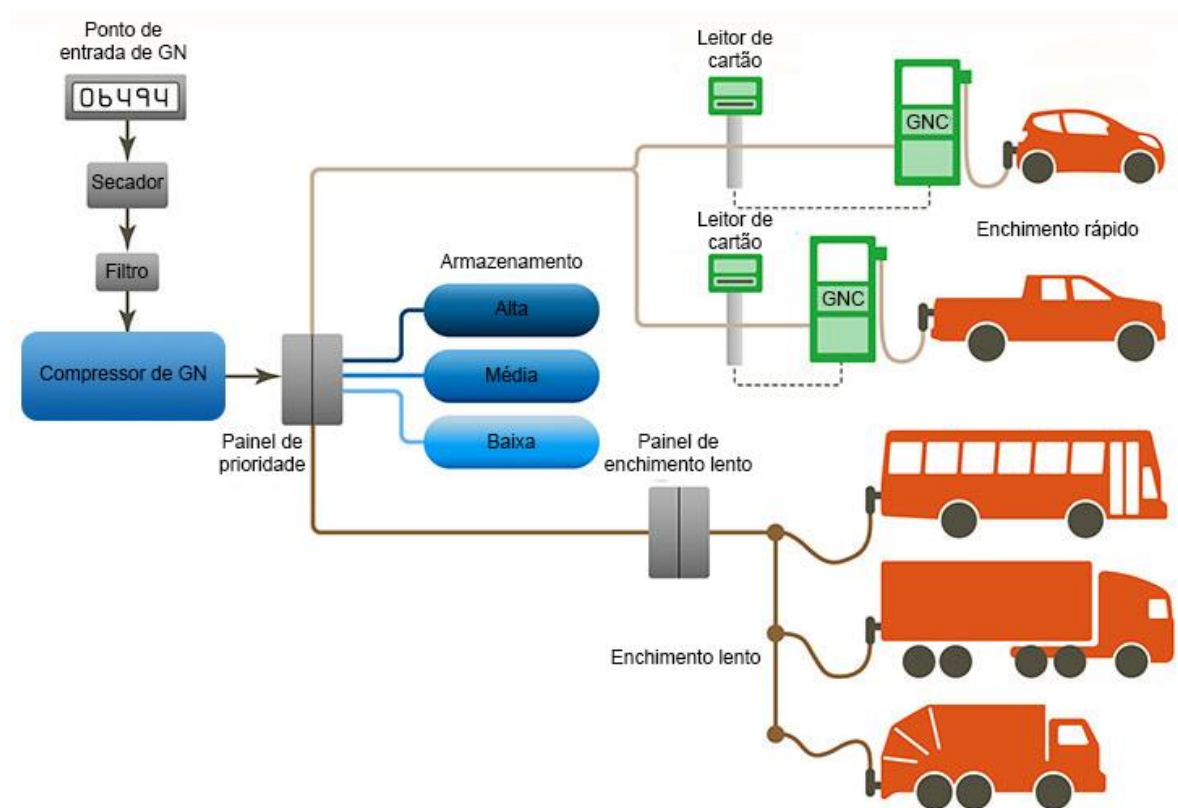


Figura 24 – Estação de abastecimento combinado (retirado de (30))

2.9.2 Vantagens e desvantagens do GNC

O GNC apresenta diversas vantagens, entre as quais, ambientais, de segurança, económicas e de adaptabilidade, como representado na Figura 25.



Figura 25 – Vantagens do GNC

Quanto às vantagens ambientais, os veículos a GNC emitem menos gases poluentes em comparação com os veículos a gasolina ou diesel, nomeadamente dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitróxido de azoto e partículas. Além disso, existe uma redução do ruído emitido pelos motores (31).

Em termos de segurança, o GNC apresenta uma temperatura de autoignição (540°C) mais elevada do que os outros combustíveis tradicionais, sendo também menos denso que o ar, pelo que em caso de fuga este tende a dissipar-se no ar. Mais ainda, o limite inferior de inflamabilidade do GNC é de 5%, que é superior ao dos combustíveis convencionais (27) (32).

As vantagens económicas incluem custos mais reduzidos e menos despesas associadas à manutenção do veículo, devido à menor produção de produtos de combustão (31).

Quanto à adaptabilidade, o GNC pode ser utilizado em diferentes tipologias de combustão dos veículos, entre os quais, os dedicados, os bi-fuel e os dual-fuel. Os veículos dedicados são movidos exclusivamente a GNC. Os veículos bi-fuel podem ser movidos a GNC ou a gasolina alternadamente, consoante a escolha do condutor. Os veículos dual-fuel utilizam uma combinação de GNC e diesel em simultâneo. O diesel é utilizado como “piloto” de

ignição e para consumo é usado maioritariamente GNC juntamente com uma pequena quantidade de diesel (27) (32).

Entre as desvantagens associadas ao GNC destacam-se a baixa eficiência do motor, o custo de aquisição do veículo elevado, o número reduzido de postos de abastecimento, a baixa autonomia comparada com um veículo tradicional e a redução de espaço devido ao sistema de armazenamento no veículo (33).

Além disso, caso o GNC seja obtido a partir de GNL (inodoro), existe ainda a necessidade do processo de odorização do GNC (por forma a permitir a sua deteção em caso de fuga), que pode ser também considerada uma desvantagem (34).

2.9.3 Comparação entre veículos a diesel e GNC

Por forma a demonstrar que a troca de veículos a diesel por GNC, é uma mais-valia, de seguida estão apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2, dados de consumos e emissões entre o mesmo tipo de veículo. Estes dados foram obtidos através de um Ecoteste realizado pelo maior clube automobilístico europeu, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC), envolvendo 2 veículos, VW Golf Comfortline e Opel Zafira Edition (35).

Tabela 1 – Comparação entre Diesel e GNC no VW Golf Comfortline (retirado de (35))

Tipo de combustível	Diesel	GNC
Consumo	3,8 l/100km	3,6 kg/100km
CO₂	120	98
Preço de combustível	1,272 €/l	1,020 €/kg
Preço a percorrer (100km)	4,83 €	3,67 €

Tabela 2 – Comparação entre Diesel e GNC no Opel Zafira Edition (retirado de (35))

Tipo de combustível	Diesel	GNC
Consumo	5,7 l/100km	4,9 kg/100km
CO₂	183	131

Preço de combustível	1,272 €/l	1,020 €/kg
Preço a percorrer (100km)	7,25 €	5,00 €

Como se pode verificar pela análise da Tabela 1 e da Tabela 2, as emissões em ambos os veículos a GNC são mais reduzidas em comparação com os mesmos modelos a gasóleo. Em termos de gastos associados ao combustível, também em ambos os veículos a GNC o preço de combustível por quilómetro percorrido é inferior aos modelos a gasóleo, o que a longo prazo será uma vantagem económica bastante significativa.

Assim conclui-se que o GNC é um meio para a descarbonização do setor dos transportes aliado à redução de custos de combustível.

3. Postos de abastecimento de gás natural

Um dos setores alvo do GN é o setor do transporte, pelo que é fundamental a existência de postos de abastecimentos e a sua diversificação de acordo com o tipo de consumo, GNL e/ou GNC.

Os postos de abastecimento podem ter várias tipologias e para uma escolha adequada é necessário ter em conta fatores como a dimensão da frota a abastecer, de modo a definir a capacidade de compressão, e o tipo de frota que se pretende abastecer (GNL, GNC ou ambas). Além disso, deve-se ter em conta a possível existência de rede de distribuição de GN e a sua pressão caso se pretenda só abastecer veículos a GNC, o tipo de abastecimento (rápido ou lento), os custos de operação e de manutenção do posto de abastecimento e a potência necessária para a instalação.

No mercado do GN, existem três tipologias de postos de abastecimento e, dentro destas opções disponíveis, é possível usar mais do que um tipo de tipologia no mesmo posto de abastecimento. Dentro da mesma tipologia pode haver várias diferenças de processo e de equipamentos, o que depende da especificação do cliente. As tipologias existentes são:

- Abastecimento de viaturas a GNC diretamente da rede de distribuição;
- Abastecimento de viaturas a GNC a partir de GNL;
- Abastecimento de viaturas a GNL.

Todos os postos de abastecimento são controlados de forma totalmente automática por um sistema de controlo, constituído por um *Programmable Logic Controller* (PLC), interruptores diferenciais, disjuntores, entre outros.

Todos os tipos de postos de abastecimento contêm também uma variada instrumentação, de modo a fazer um controlo adequado, incluindo manómetros, termómetros, transmissores de pressão e sondas de temperatura. Além de todo o controlo e seguranças de processo, existem também botoneiras de emergências, um sistema de extinção de incêndios, detetores de gás e sinalização adequada. Mais ainda, todos os troços de tubagens da instalação estão protegidos mecanicamente por válvulas de segurança corretamente dimensionadas para o caudal máximo possível.

Neste capítulo são abordados os vários tipos de postos de abastecimento, dando a conhecer os vários equipamentos, o seu princípio de funcionamento e os seus custos, quer em termos de energia quer de manutenção.

3.1 Posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição

Para se implementar um posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição é essencial que exista uma rede de GN perto do local onde se pretender construir o posto de abastecimento. Este tipo de posto de abastecimento tem como objetivo abastecer frotas de veículos ligeiros (carros comerciais e carros de passageiros) e veículos pesados (autocarros e camiões de recolha de resíduos).

O posto de abastecimento em questão é constituído por três módulos distintos para o seu correto funcionamento:

- Módulo de abastecimento de GNC;
- Módulo de controlo;
- Módulo de equipamentos auxiliares.

O módulo de abastecimento de GNC é constituído no mínimo por um compressor de GN, uma bateria de armazenamento e uma unidade de enchimento de GNC. O módulo de controlo é o “cérebro” de todo o sistema, consiste num PLC e em equipamentos elétricos que gerem todos os eventos do posto de abastecimento. O módulo de equipamentos auxiliares é composto essencialmente por detetores de gás, botoneiras de emergência e rede de ar comprimido, necessário para a atuação de válvulas pneumáticas.

Na Figura 26 é possível observar o diagrama do processo do posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição, assim como os seus equipamentos constituintes, que são:

1. Rede de distribuição de GN;
2. Módulo compressor;
3. Bateria de armazenamento;
4. Unidade de abastecimento de GNC.

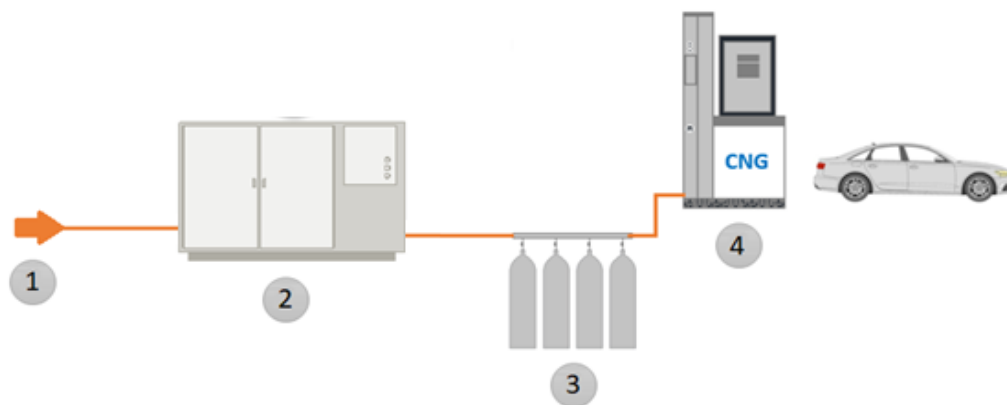


Figura 26 – Posto de abastecimento de GNC a partir da rede de distribuição (retirado de (28))

Descrição geral do funcionamento

O GN chega ao posto de abastecimento na sua forma gasosa através da rede de distribuição (Figura 26– 1) e posteriormente é comprimido através de um compressor de GN (Figura 26– 2). O compressor pode conter três ou quatro estágios de compressão, dependendo do tipo de compressor, sendo que à saída deste, o GN já se encontra comprimido na ordem dos 300 bar.

De modo a existir GNC processado para o abastecimento de viaturas, o módulo de GNC conta com pelo menos uma bateria de armazenamento de GNC (Figura 26 – 3), para abastecer as viaturas de forma rápida e não existir necessidade de arranque do sistema sempre que é realizado um abastecimento de GNC.

Os veículos são abastecidos com GNC através da unidade de enchimento de GNC (Figura 26 – 4), que está dotada de dois bocais de abastecimento (NGV1 e NGV2). O bocal NGV1 é utilizado para viaturas ligeiras, enquanto o bocal NGV2 é usado para o abastecimento de viaturas pesadas.

3.2 Posto de abastecimento de GNC a partir de GNL

Os postos de abastecimento de GNC a partir de GNL são geralmente implementados em áreas em que a rede de distribuição de GN não está acessível. Desta forma, é necessário o transporte de GNL através de um camião-cisterna até ao posto de abastecimento. Este tipo de posto de abastecimento é conhecido no mercado do GN como um posto de GNL-C, abastecendo tanto viaturas ligeiras como viaturas pesadas movidas a GNC a partir de GNL.

O posto de abastecimento de GNL-C é constituído por cinco módulos, sendo estes:

- Módulo de descarga de GNL;
- Módulo de armazenamento de GNL;
- Módulo de abastecimento de GNC;
- Módulo de controlo;
- Módulo de equipamentos auxiliares.

O módulo de descarga de GNL pode conter uma bomba criogénica, de modo a ser possível executar a trasfega de GNL com maior facilidade e rapidez. No entanto, caso não exista bomba criogénica, a trasfega é executada por diferencial de pressão. O módulo de armazenamento de GNL consiste num reservatório criogénico onde o GNL é armazenado no posto de abastecimento. O módulo de abastecimento de GNC é constituído, no mínimo, por uma bomba de compressão, um vaporizador ambiental, um sistema de odorização, uma bateria de armazenamento e uma unidade de enchimento de GNC. Os módulos de controlo e de equipamentos auxiliares são semelhantes aos módulos respetivos descritos no subcapítulo 6.1, diferenciando-se os modelos dos equipamentos elétricos, devido a potências diferentes instaladas no posto de abastecimento.

Na Figura 27 é possível observar o diagrama do processo do posto de abastecimento de GNL-C, assim como os seus equipamentos constituintes, que são:

1. Camião-cisterna;
2. Bomba centrífuga criogénica;
3. Reservatório de GNL;
4. Bomba de compressão;
5. Vaporizador ambiental de alta pressão;
6. Sistema de odorização;
7. Bateria de armazenamento;
8. Unidade de enchimento de GNC.

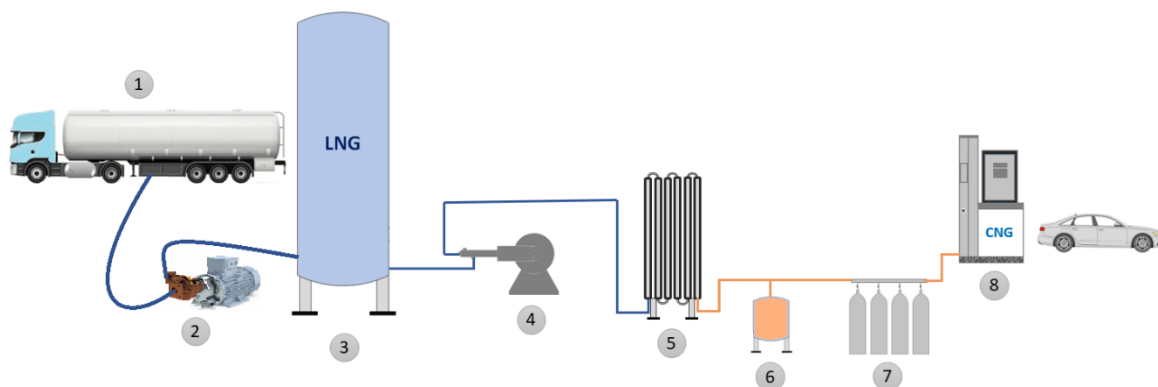


Figura 27 – Posto de abastecimento de GNL-C (retirado de (28))

Descrição geral do funcionamento

O GN chega ao posto de abastecimento na sua forma liquefeita (GNL) através de transporte em camião-cisterna (Figura 27 – 1). A trasfega do GNL para o posto de abastecimento é realizada através de um sistema que recorre a uma bomba centrífuga criogénica (Figura 27 – 2), que faz a trasfega do GNL do camião-cisterna para o reservatório de GNL do posto de abastecimento (Figura 27 – 3).

Por forma a obter o GNC nas condições de consumo, o GNL tem de ser comprimido e posteriormente vaporizado. A compressão é realizada através de uma ou mais bombas de compressão criogénicas (Figura 27 – 4) que elevam a pressão do GNL para pressões na ordem dos 300 bar, sendo posteriormente vaporizado no vaporizador ambiental de alta pressão (Figura 27 – 5).

Por questões legais, para fornecimento de GNC é obrigatório que este esteja odorizado quando chega ao depósito da viatura. Devido ao facto de o GNL ser inodoro é necessário odorizar, sendo que a etapa de odorização (Figura 27 – 6) ocorre após a vaporização (Figura 27 – 5).

De modo a existir GNC processado para o abastecimento de viaturas, o módulo de GNC conta com pelo menos uma bateria de armazenamento de GNC (Figura 27 – 7), para abastecer as viaturas de forma rápida e não existir necessidade de arranque do sistema sempre que é realizado um abastecimento de GNC.

O GNC é abastecido através de uma unidade de enchimento de GNC (Figura 27 – 8), que está dotada de dois bocais de abastecimento (NGV1 e NGV2).

3.3 Posto de abastecimento de GNL

Os postos de abastecimento de GNL têm exclusivamente de ser projetados a partir do fornecimento de GNL, ou seja, é necessário o transporte de GNL por camião-cisterna para o posto de abastecimento. Este tipo de posto de abastecimento tem como público-alvo apenas as viaturas pesadas, exceto os veículos de recolha de resíduos e a maioria dos autocarros.

O posto de abastecimento de GNL é constituído por cinco módulos, sendo estes:

- Módulo de descarga de GNL;
- Módulo de armazenamento de GNL;
- Módulo de abastecimento de GNL;
- Módulo de controlo;
- Módulo de equipamentos auxiliares.

O módulo de abastecimento de GNL consiste numa bomba submersa criogénica e numa unidade de enchimento de GNL. Todos os restantes módulos que fazem parte do posto de abastecimento de GNL encontram-se já descritos no subcapítulo 6.2.

Na Figura 28 é possível observar o diagrama do processo do posto de abastecimento de GNL, assim como os seus equipamentos constituintes, que são:

1. Camião-cisterna;
2. Bomba centrífuga criogénica;
3. Reservatório de GNL;
4. Bomba submersa criogénica;
5. Unidade de enchimento de GNL.

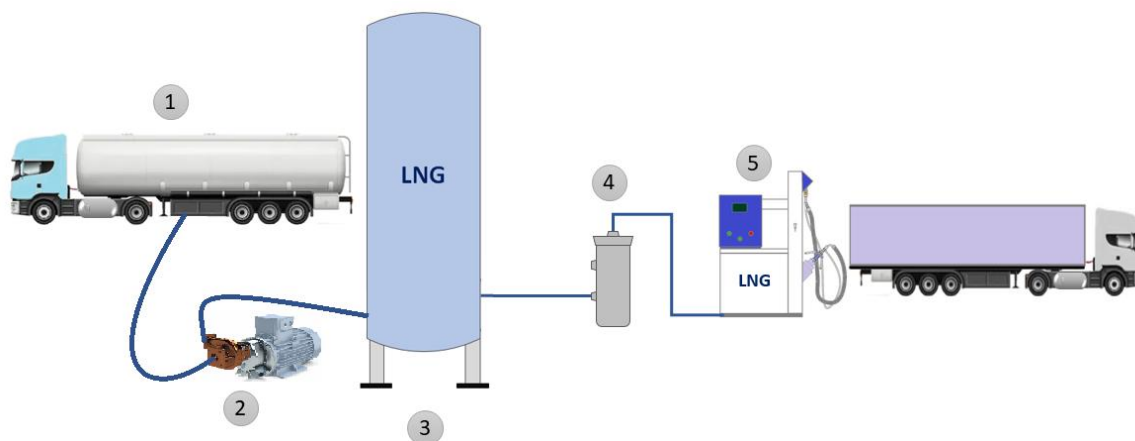


Figura 28 – Posto de abastecimento de GNL (retirado de (28))

Descrição geral do funcionamento

O GN chega ao posto de abastecimento na sua forma liquefeita (GNL) através de transporte em caminhão-cisterna (Figura 28 – 1). A trasfega do GNL para o posto de abastecimento é realizada através de um sistema que recorre a uma bomba centrífuga criogénica (Figura 28 – 2), que faz a trasfega do GNL do caminhão-cisterna para o reservatório de GNL do posto de abastecimento (Figura 28 – 3).

No reservatório de GNL (Figura 28 – 3) é armazenado o GNL até que seja processado para o abastecimento de GNL em viaturas pesadas.

O GNL é abastecido diretamente às viaturas com o auxílio de uma bomba submersa (Figura 28 – 4), que bombeia o GNL diretamente do reservatório do posto para o reservatório do veículo. O GNL é abastecido às viaturas através da unidade de enchimento de GNL (Figura 28 – 5). Esta unidade é dotada de duas mangueiras (líquido e retorno ou *vent*), sendo necessária a utilização de ambas no abastecimento das viaturas IVECO/SCANIA, enquanto que para abastecimento das viaturas VOLVO só é necessária a utilização da mangueira de líquido. A unidade de enchimento de GNL permite apenas o abastecimento de uma viatura de cada vez.

3.4 Posto de abastecimento GNL e GNC a partir de GNL

Considerando as tipologias de postos de abastecimento de GNL e de GNL-C isoladas, estas podem ser combinadas formando um posto de abastecimento com capacidade de fornecer

GNL e GNC a partir de GNL, conhecidos no mercado de GN como postos de abastecimento GNL/C.

O princípio geral de funcionamento é igual ao descrito anteriormente nos subcapítulos 6.2 e 6.3, com a diferença de que existem mais equipamentos instalados no mesmo posto de abastecimento.

O posto de abastecimento em questão é constituído por seis módulos:

- Módulo de descarga de GNL;
- Módulo de armazenamento de GNL;
- Módulo de abastecimento de GNL;
- Módulo de abastecimento de GNC;
- Módulo de controlo;
- Módulo de equipamentos auxiliares.

Na Figura 29 é possível observar o diagrama do processo do posto de abastecimento de GNL e GNC a partir de GNL, assim como os seus equipamentos constituintes, que são:

1. Camião-cisterna;
2. Bomba centrífuga criogénica;
3. Reservatório de GNL;
4. Bomba submersa criogénica;
5. Unidade de enchimento de GNL;
6. Bomba de compressão;
7. Vaporizador de alta pressão;
8. Sistema de odorização;
9. Bateria de armazenamento;
10. Unidade de enchimento de GNC.

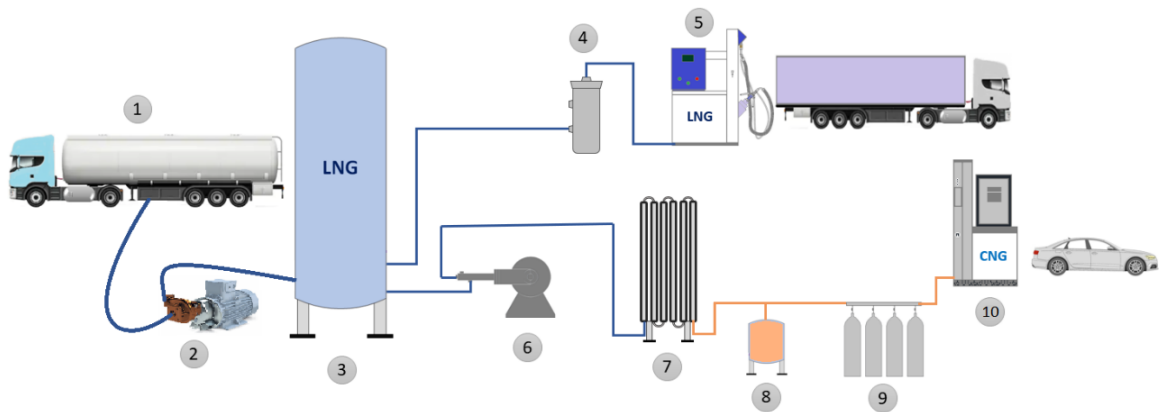


Figura 29 – Posto de abastecimento GNL/C (retirado de (28))

3.5 Equipamentos adicionais para rentabilização do posto de abastecimento

De modo a compreender o motivo de instalação de equipamentos adicionais para rentabilizar a utilização do GNL na sua totalidade, sem direcionar gás para a atmosfera, é necessário entender o comportamento do reservatório de GNL e o GNL em si.

Com base no comportamento do GNL e do reservatório de GNL, existem duas opções que podem ser adicionadas a um posto de abastecimento de GNL/C. As duas opções que fazem com que a rentabilização do posto de abastecimento seja possível passam pelo arrefecimento do GNL com recurso a nitrogénio líquido ou pela recuperação de GN na sua forma gasosa do reservatório de GNL.

Comportamento do GNL

A pressão do GNL está relacionada com a temperatura a que este se encontra, pois quando a temperatura aumenta a pressão também vai aumentar (36). Na Figura 30, pode-se verificar a relação mencionada, pois à pressão atmosférica, aproximadamente de 1 bar, o GNL encontra-se a uma temperatura de -163°C . Com o aumento da temperatura para os -150°C , a pressão aumenta para os 3 bar e após chegar aos 8 bar, o GNL está a uma temperatura de -130°C . Acima desta temperatura o GNL deixa de ser viável para abastecimento de veículos a GNL, atingindo o ponto crítico, pelo que se fornecido acima desta temperatura, as viaturas terão perdas de rendimento nas suas deslocações e poderão mesmo até parar.

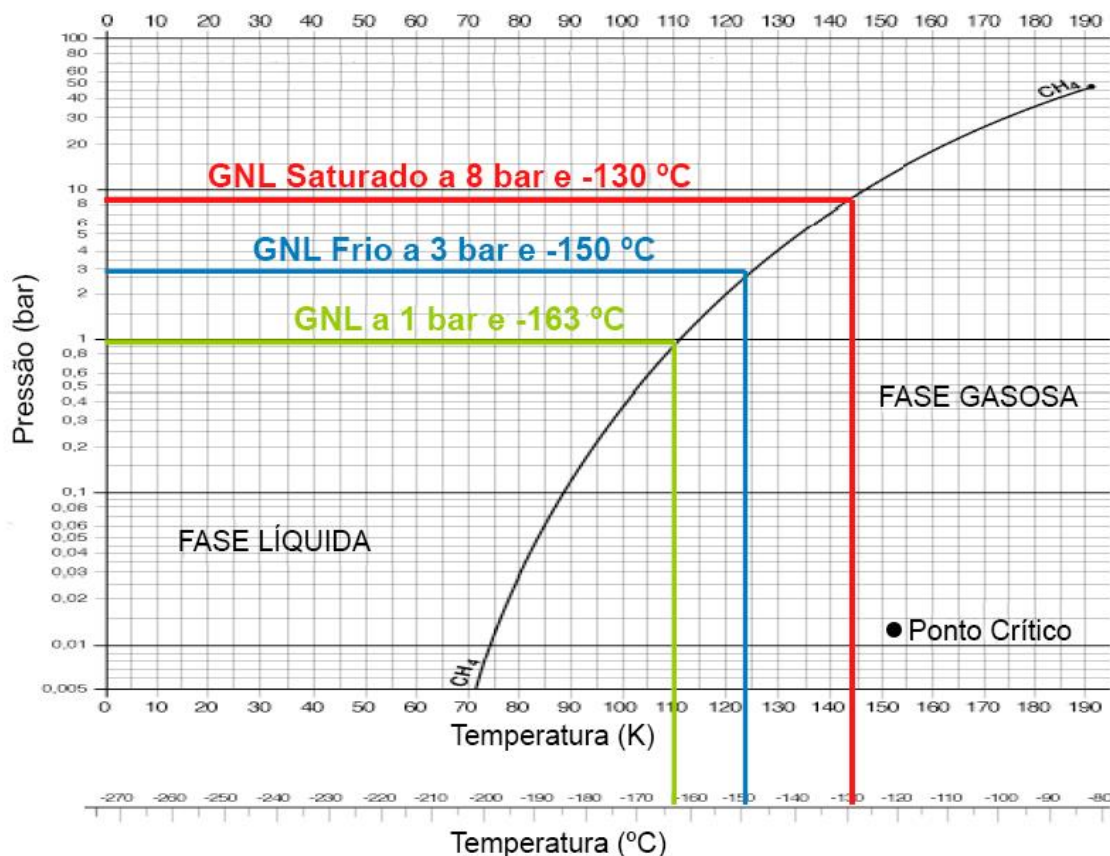


Figura 30 – Comportamento do GNL (retirado de (28))

Comportamento de reservatórios de GNL

Os reservatórios de GNL são constituídos por um reservatório exterior em aço carbono, totalmente estanque, e um reservatório interior em aço inox que contém o GNL armazenado. Entre os dois reservatórios existe um isolamento de perlite expandida, assim como uma câmara de vácuo (37).

Com este isolamento entre os dois reservatórios, o GNL consegue permanecer durante dias a uma temperatura praticamente estável, em que o seu aumento de dia para dia é relativamente pouco. Ou seja, uma pequena parte de GNL todos os dias vaporiza, sendo que essa porção de gás vaporizado deixa de estar no estado líquido e passa a estar na fase gasosa, aumentando conseqüentemente a pressão no interior do reservatório de GNL (37).

Caso este isolamento não existisse, o GNL em contato com a temperatura ambiente iria vaporizar demasiado rápido, o que iria aumentar exageradamente depressa a pressão do reservatório de GNL e para sua proteção o gás seria direcionado para a atmosfera, havendo um desperdício praticamente total do GNL (37).

Apesar de o isolamento ser um dos aspetos mais importantes nos reservatórios de GNL, ele não é 100% viável, pois como foi dito anteriormente, de dia para dia, a temperatura aumenta, mesmo que seja relativamente pouca, o que leva ao aumento da pressão. Deste modo, é importante adicionar algum sistema ao posto de abastecimento que compense o aumento de pressão no interior do reservatório de GNL, para evitar que haja emissões para a atmosfera (37).

Sistema adicional com recurso a nitrogénio

Uma das opções viáveis para o máximo aproveitamento do GN é o uso de nitrogénio líquido. Este sistema passa por ter um reservatório adicional na instalação que contém nitrogénio líquido e duas linhas de tubagens entre o reservatório de GNL e o reservatório de nitrogénio.

Geralmente, os reservatórios de GNL contêm uma serpentina no topo do reservatório, mas também podem conter uma serpentina no topo e outra na base do reservatório. Estas serpentinas só são colocadas nos reservatórios de GNL caso se tenha projetado o posto de abastecimento para incluir o reservatório de nitrogénio.

Quando o reservatório de GNL atinge uma pressão já considerada minimamente elevada, programada no PLC incorporado no sistema de controlo, o nitrogénio líquido passa pelas serpentinas do reservatório de GNL, baixando a pressão no interior do reservatório de GNL. Isto acontece devido ao facto de o nitrogénio líquido se encontrar por volta dos -180°C , inferior à temperatura do GNL, baixando a temperatura no interior do reservatório e, conseqüentemente, diminuindo a pressão.

Deste modo, ao conseguir-se baixar a pressão do GNL, não é necessário expelir nenhum GN para a atmosfera. Na Figura 31, verifica-se que está incluído um novo equipamento (Figura 31 – 11), um reservatório de nitrogénio líquido no posto de abastecimento de GNL/C. Este reservatório também pode ser incluído em postos de abastecimento de GNL e de GNL-C, porém são pouco comuns em postos de abastecimento de GNL-C.



Figura 31 – Rentabilização do posto de abastecimento de GNL/C com recurso a nitrogénio líquido (retirado de (28))

Sistema adicional para recuperação de GN – *boil off*

A outra opção que pode ser utilizada para evitar emissões de GN para a atmosfera é um sistema de recuperação de GN, conhecido como *boil off*. Para adicionar este sistema ao posto de abastecimento é necessário instalar três novos equipamentos, que são um vaporizador (Figura 32 – 11), um reservatório de GN (Figura 32 – 12) e um compressor de GN (Figura 32 – 13).

Quando o reservatório de GNL atingir uma pressão minimamente elevada, programada pelo PLC, o GN acumulado no topo do reservatório de GNL é direcionado para o vaporizador (Figura 32 – 11). Apesar de o GN já se encontrar já na sua forma gasosa, está a uma temperatura relativamente baixa (aproximadamente -130°C) e é necessário passar pelo vaporizador para que o GN fique a uma temperatura ambiente.

O reservatório de GN (Figura 32 – 12), onde vai ser armazenado o GN na sua forma gasosa está projetado para temperaturas entre -20°C e 50°C , daí ser importante vaporizar antes o GN. O reservatório de GN (Figura 32 – 12) serve de “pulmão” do posto de abastecimento, evitando que o GN seja libertado para a atmosfera.

Quando as baterias de armazenamento (Figura 32 – 9) tiverem espaço livre para se comprimir GN, o PLC dá prioridade ao compressor de GN (Figura 32 – 13), de modo a libertar o GN acumulado no reservatório de GN (Figura 32 – 12). Só quando este reservatório já não tiver GN é que o PLC recorre à bomba de compressão (Figura 32 – 6). Deste modo,

as emissões de GN para a atmosfera são praticamente nulas, pois só haverá emissões se o reservatório de GN e o reservatório de GNL estiverem com as pressões altas, o que será bastante raro de acontecer. Este sistema de recuperação de GN também pode ser instalado em postos de abastecimento de GNL-C.

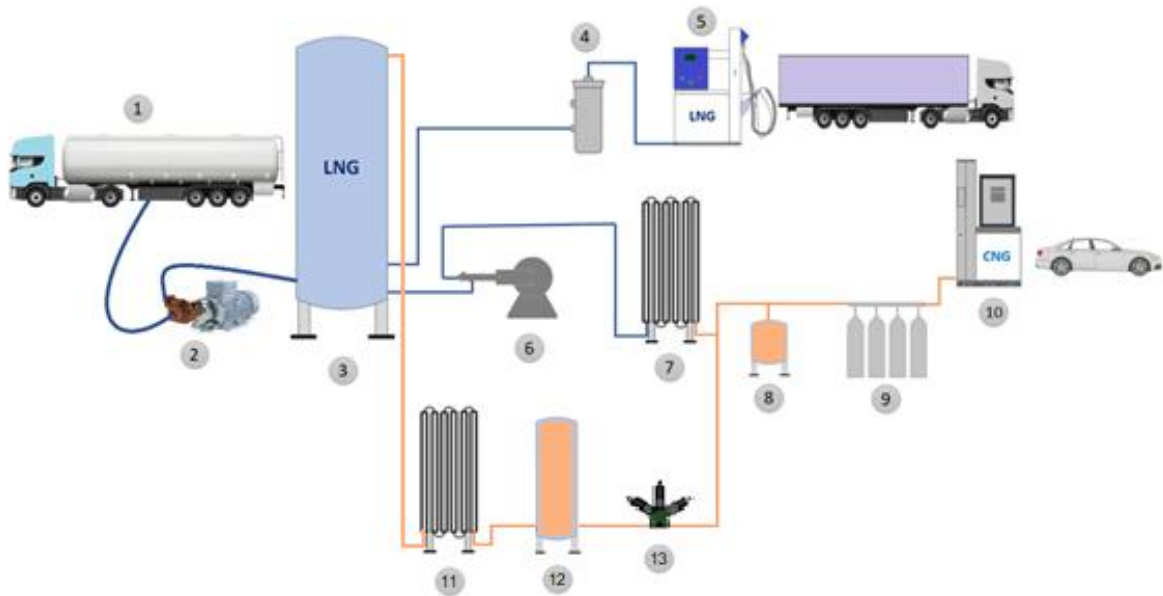


Figura 32 – Rentabilização do posto de abastecimento de GNL/C com recuperação de gás (*boil off*) (retirado de (28))

3.6 Comparação entre os variados postos de abastecimento

Com base nas várias tipologias de postos de abastecimento, no seu funcionamento e nos seus equipamentos, encontra-se apresentado na Tabela 3 um resumo, comparando os principais aspetos positivos e negativos a ter em conta para cada tipologia. Deste modo, é possível comparar qual tipologia é adequada a cada tipo de veículo e a dimensão necessária de uma frota, para o estudo CAPEX. Quando o posto de abastecimento está em funcionamento, requer manutenções corretivas e preventivas e existe uma despesa associada a termos energéticos. Assim sendo, é importante ter em conta todos estes fatores para o estudo OPEX antes de prosseguir com um projeto de um posto de abastecimento.

Independentemente da tipologia escolhida, é obrigatório esta ser regida pela legislação aplicável para postos de abastecimento, apresentada no Apêndice D.

Tabela 3 – Comparação entre tipologias (retirado de (28))

	Posto GNC	Posto GNL-C	Posto GNL
Viaturas	Ligeiros / Pesados	Ligeiros / Pesados	Pesados
CAPEX	- / + Viabilidade mesmo para pequenas frotas. Com pressões de entrada mais baixas, o investimento torna-se elevado	- / + Requer uma frota mínima considerável	- Requer uma frota mínima considerável. Possibilidade de combinar GNC + GNL
OPEX (Energia)	-- Consumo elevado de energia para a compressão	+ Melhora significativamente face aos postos GNC convencionais (facilidade de compressão de líquidos face a gases)	++ Inexistência da necessidade de compressão do GNL
OPEX (Manutenção)	-- Instalação complexa	+ Procedimento de manutenção simples	++ Procedimento de manutenção simples
LOCALIZAÇÃO	-- Depende da existência de rede de distribuição	++ Independente da existência de rede de distribuição de GN	++ Independente da existência de rede de distribuição de GN

4. Metodologia

Após se ter verificado que a substituição de veículos a diesel por veículos a GNC no subcapítulo 2.9.3 em termos económicos e ambientais é positiva, era necessário definir o posto de abastecimento de GNC. Como não foi possível ter ligação a um ramal de GN, a solução proposta foi desenvolver um posto de abastecimento de GNC proveniente de GNL. A solução desenvolvida é constituída por várias etapas e módulos, desde a descarga de GNL, o seu processamento até ao abastecimento do veículo a GNC, como se pode visualizar na Figura 33.

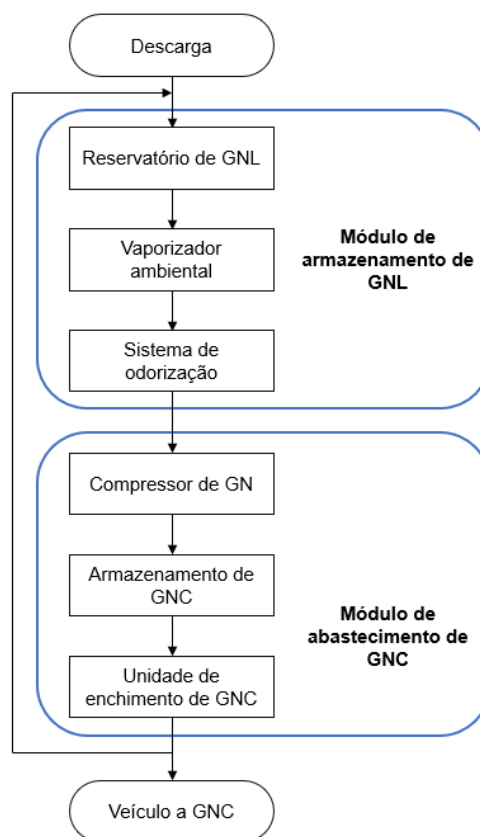


Figura 33 – Fluxograma de processo do posto de abastecimento a implementar

4.1 Sistema de controlo

A solução apresentada na Figura 33, requer um sistema de controlo, por forma a monitorizar e controlar todas as etapas de processo de forma adequada e segura. O sistema de controlo, de uma forma geral, é constituído por entradas digitais e analógicas, saídas digitais, 2 PLC,

mecanismos de emergência e dispositivos para aquisição e tratamento de dados, como se pode observar na Figura 34.

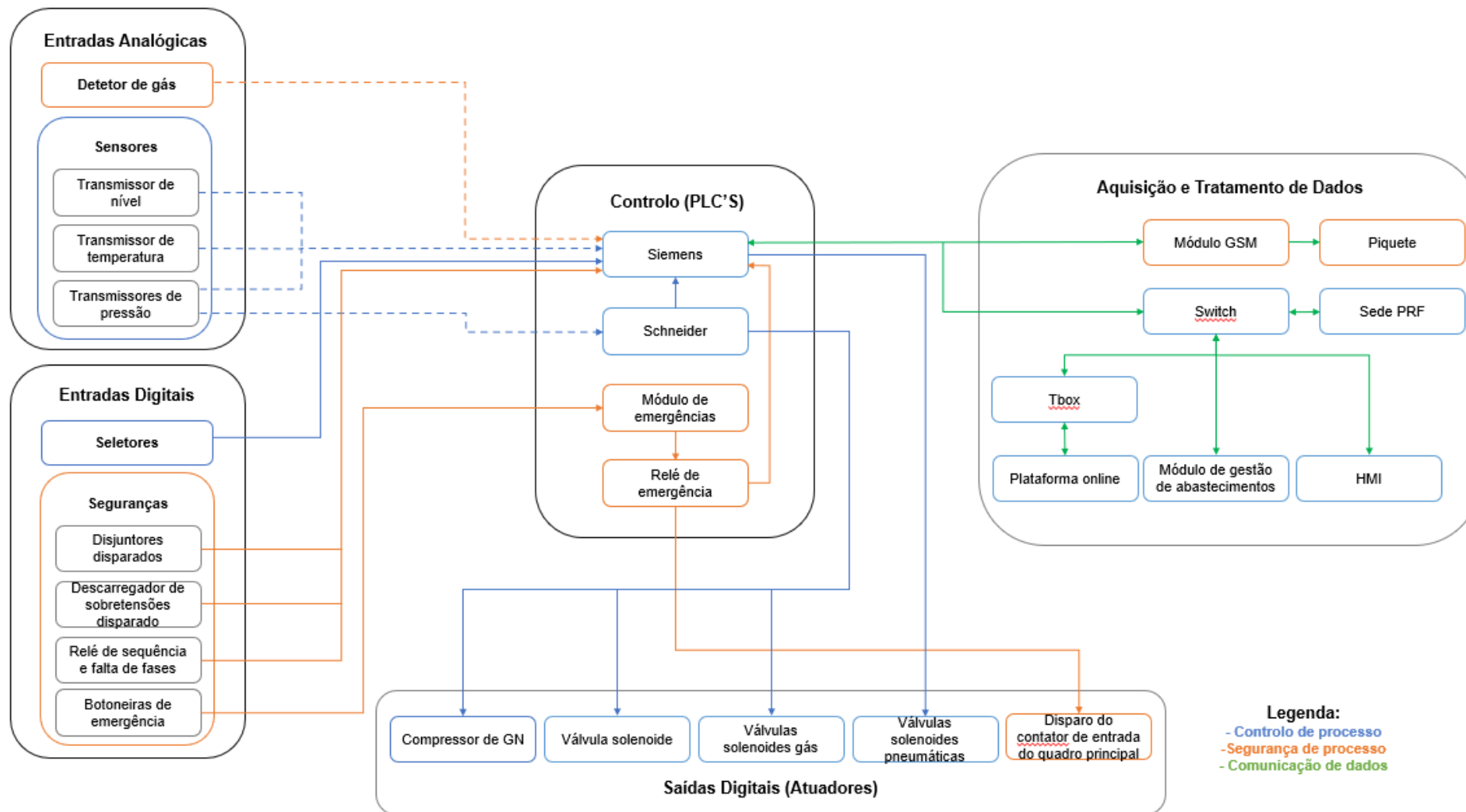


Figura 34 – Sistema de controlo

Controlo de processo

O controlo do posto de abastecimento é efetuado com recurso a 2 PLC, 1 da Siemens e 1 outro da Schneider. O PLC Siemens é o PLC principal incorporado no quadro de controlo principal, responsável por controlar toda a instrumentação adjacente ao módulo de armazenamento de GNL. O PLC Schneider é o PLC secundário instalado no quadro de controlo secundário, responsável por controlar o arranque e a paragem do compressor, como toda a sua instrumentação adjacente ao módulo de abastecimento de GNC. Ambos os quadros de controlo estão instalados dentro de um contentor de controlo.

Ambos os PLC operam de forma independente, apesar de o PLC Schneider fornecer informações ao PLC Siemens, tais como:

- A pressão das duas baterias de armazenamento;
- Quando o compressor está em funcionamento;
- Quando existe uma falha no quadro secundário.

O posto de abastecimento está preparado para funcionar em modo totalmente automático, no entanto, também permite o funcionamento em modo manual, maioritariamente usado para manutenção.

Apesar de visualmente, pela Figura 34, se poder verificar que os sinais analógicos e digitais se conectam diretamente aos PLC, na realidade alguns destes sinais não podem ser conectados desta forma. Todos os sinais que provêm a partir do exterior do contentor de controlo, chamados sinais de “campo”, estão em zonas de atmosfera explosiva (ATEX). Por este motivo, estão instaladas entre os PLC e os sinais de “campo”, barreiras de segurança intrínseca. Estas barreiras de segurança intrínseca, estão instaladas em ambos os quadros de controlo, por forma a limitar a potência fornecida de uma área segura (contentor de controlo) para uma área ATEX. Ao limitar-se a potência fornecida, não existe calor excessivo e a possibilidade de formação de faíscas que provoquem ignição é eliminada.

Das entradas digitais, os sinais que vêm da zona ATEX, são alguns seletores e algumas betoneiras de emergências, precisando estes sinais de uma barreira intrínseca adequada para entradas digitais, sendo a tensão de alimentação destes sinais de 24V.

Das entradas analógicas, apenas os sensores passam por barreiras de segurança intrínseca, com uma tensão de alimentação e uma gama de corrente que varia entre os 4mA e os 20mA,

fazendo corresponder posteriormente esta gama de corrente a uma determinada pressão, temperatura ou nível.

As saídas digitais do sistema de controlo são atuadas pelo PLC correspondente com uma tensão de alimentação de 24V. Todas as electroválvulas são acionadas a 24V, porém algumas atuam válvulas pneumáticas através de ar comprimido, outras atuam válvulas a gás através do próprio GN e existe uma que é atuada eletricamente. Quanto ao compressor de GN, ele é alimentado com uma tensão de alimentação de 380V, porém o sinal de controlo para arranque ou paragem é dada pelo PLC a um disjuntor-motor, e esse disjuntor-motor aciona o compressor de GN.

À parte de todo o sistema de controlo de processo, existem vários dispositivos a comunicarem entre si, através de ligações *ethernet*. Estes dispositivos recolhem informações desde sinais digitais e analógicos, número de abastecimentos, estado do posto de abastecimento, entre outros, possibilitando uma análise destes dados em tempo real ou um posterior tratamento destes. Os dispositivos de comunicação de dados instalados no quadro de controlo principal são o *switch*, a *Tbox*, o *human-machine interface* (HMI) e o PLC Siemens. O módulo de gestão de abastecimento encontra-se perto da unidade de enchimento de GNC. De forma mais específica, a ligação *ethernet* vem desde a sede da PRF até ao *switch*, interligando o PLC Siemens, a *Tbox*, o HMI e o módulo de gestão de abastecimentos. O módulo de gestão de abastecimentos está em constante comunicação com um *software* de abastecimentos instalado num computador na sede da PRF, enviando os dados de todos os abastecimentos em tempo real. A *Tbox* é o dispositivo que permite a ligação ao PLC Siemens remotamente, para atualização de software, entre outras coisas. A *Tbox* também recolhe dados do PLC, como pressão do reservatório, das baterias de armazenamento e outros dados de processo e envia para uma plataforma online, onde é possível fazer uma análise em tempo real, como também guardar um histórico. A interface de comunicação entre o operador (localmente) e o sistema de controlo é constituído por um HMI instalado na porta do quadro principal, onde é possível a alteração e visualização dos parâmetros do processo do posto de abastecimento.

Segurança de processo

Por forma a ser detetado alguma fuga de gás no abastecimento de veículos a GNC, colocou-se um detetor de gás junto à unidade de enchimento de GNC. O detetor de gás não é

conectado a nenhuma barreira de segurança intrínseca, devido necessitar de uma corrente mais elevada do que os sensores, sendo utilizado como proteção um fusível de 500mA e cabo armado ATEX, mantendo-se a tensão de alimentação de 24V.

Das entradas digitais no PLC relativas à segurança, existem sinais como disjuntores e descarregador de sobretensões disparados e relé de sequência e falta de fases. Estes sinais de segurança ligam diretamente no PLC Siemens.

Todas as seguranças acabadas de ser mencionadas, necessitam de reconhecimento localmente através de um botão instalado na porta do quadro de controlo principal, porém estas seguranças não “cortam” a alimentação geral do quadro principal. Como a alimentação geral do quadro principal não é cortada, a do quadro secundário também não, pois o quadro secundário está a ser alimentado a partir do quadro principal.

Como se pode observar na Figura 34, todas as betoneiras de emergência vão ligar a um módulo de emergência. Se alguma betoneira de emergência for premida, o módulo de emergência é acionado, enviando um sinal para o relé de emergência e para o PLC Siemens. O relé de emergência ao ser atuado, faz disparar o contactor geral, que por sua vez corta a alimentação do quadro principal. Todos os circuitos de potência ficam desligados, somente os circuitos de comando (sinais), incluindo o PLC Siemens, permanecem ligados aproximadamente 1 hora, devido a existir uma UPS portátil no contentor de controlo. Assim, o PLC ao receber sinal do relé de emergência, coloca todo o posto de abastecimento em “*shutdown*”, até um técnico verificar os alarmes ocorridos através do HMI. Quando se trata de segurança é importante ter bastantes salvaguardas, e como se verificou, quando ocorre uma emergência, o posto de abastecimento é encerrado tanto por *software* (PLC), como por *hardware* (relé de emergência).

O módulo GSM está em permanente comunicação com o PLC Siemens. Cada vez que ocorre um alarme no posto de abastecimento, o PLC envia esse alarme para o módulo GSM, que contém um cartão SIM, enviando o alarme para o técnico de serviço (piquete).

4.2 Módulo de descarga

De forma simplificada, o módulo de descarga é constituído por uma linha de entrada (tubagem de descarga) para o enchimento do reservatório (fase líquida) e uma linha de

retorno para o caminhão-cisterna (fase gasosa), duas mangueiras flexíveis de interligação entre o caminhão-cisterna e um vaporizador ambiental.

A tubagem de descarga, antes de ser implementada, foi previamente desenhada no *software* Inventor e posteriormente, importada para o *software* CAESAR II.

O CAESAR II é um *software* de análise de flexibilidade e tensão, que permite uma análise rápida e precisa de sistemas de tubulação submetidos a uma grande variedade de cargas, levando em conta peso, pressão, temperatura, sísmica e outras condições estáticas e dinâmicas, com base em variáveis definidas pelo usuário e diretrizes aceitas pela indústria.

No *software* CAESAR II, foi definido o tipo de fluido (GNL) a circular na tubagem de descarga a uma temperatura de -140°C . Com estes dois dados definidos, o *software* CAESAR II automaticamente teve em conta a pressão e o peso do GNL à temperatura definida.

Por forma a restringir movimentos na tubagem de descarga, foi necessária a aplicação de restrições ao longo da tubagem. Como tal, adicionaram-se várias restrições à tubagem no *software* CAESAR II, representadas na Figura 35, desde a letra A à letra E, tratando-se neste caso de apoios, de modo a verificar se os valores obtidos nos deslocamentos eram aceitáveis.

Tanto a letra A como a letra E, dizem respeito às flanges colocadas nas extremidades da tubagem, em que o tipo de apoio utilizado é o apoio encastrado. O encastramento simboliza que os pontos em questão são fixos e não há movimento, pois, na realidade, as flanges encontram-se apertadas uma contra a outra. As letras B, C e D da Figura 35 demonstram que naquela posição existem apoios duplos, em que são utilizadas abraçadeiras, de modo a segurar a tubagem no solo.

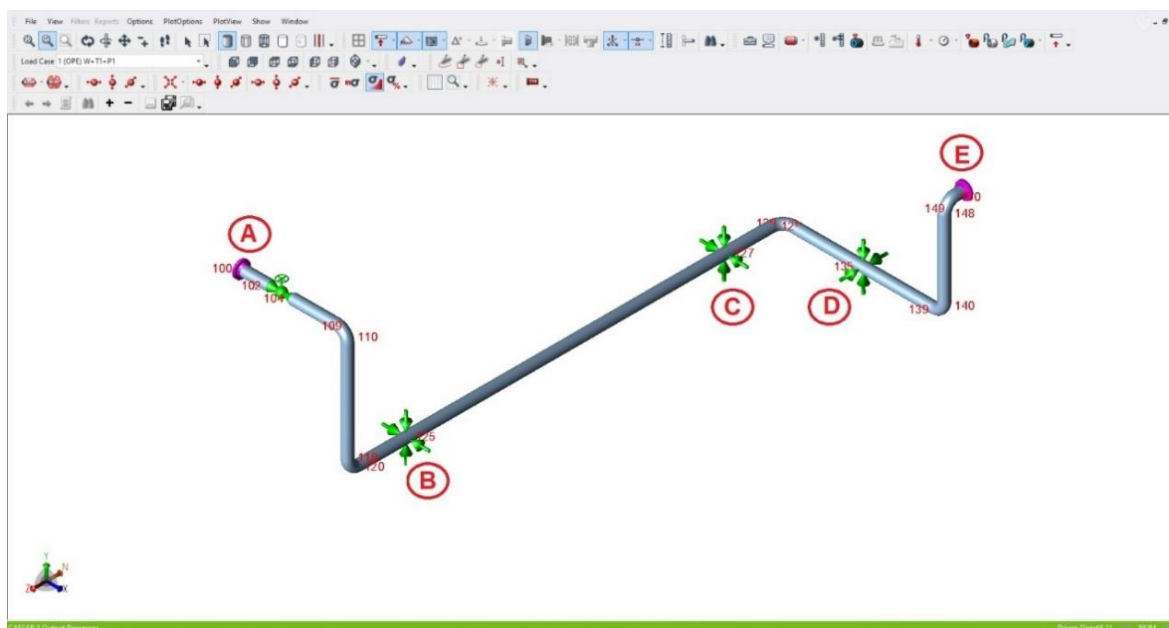


Figura 35 – Apoios aplicados à tubagem de descarga no *software* CAESAR II (retirado de (28))

4.2.1 Deslocamentos

Com os apoios estabelecidos e com as quatro variáveis definidas (fluido, temperatura, pressão e peso), através da utilização do *software* CAESAR II foi possível gerar vários nós na tubagem. Estes nós são pontos de referência, para posteriormente serem extraídos os valores do deslocamento ao longo de toda a tubagem, como se pode observar na Tabela 4.

Tabela 4 – Deslocamentos na tubagem de descarga (retirado de (28))

Nó	D _X (mm)	D _Y (mm)	D _Z (mm)	R _X (°)	R _Y (°)	R _Z (°)
100	0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	-0.0000
102	-0.338	-0.216	-0.149	0.0853	0.1024	-0.1443
104	-0.598	-0.509	-0.356	0.0868	0.1036	-0.1457
108	-1.102	-1.153	-0.861	0.2142	0.1360	-0.1500
109	-1.221	-1.194	-1.027	0.2473	0.1422	-0.0577
110	-1.259	-1.110	-1.271	0.3169	0.1518	0.0504
118	-0.114	0.043	-4.208	0.2569	0.0482	0.1655
119	-0.006	0.181	-4.304	0.1133	0.0357	0.1712

120	0.028	0.245	-4.232	-0.0216	0.0123	0.1751
125	-0.000	0.000	-3.684	-0.0571	0.0118	0.1604
127	0.000	-0.000	0.001	-0.0793	-0.1090	0.0613
128	0.508	-0.438	0.548	-0.1115	-0.1019	0.0466
129	0.516	-0.502	0.654	-0.1047	-0.0173	0.0462
130	0.421	-0.499	0.669	-0.0979	0.0732	0.0507
135	-0.388	0.000	0.000	-0.0564	0.1037	0.1378
138	-1.197	1.048	-0.465	-0.0149	0.0494	0.1323
139	-1.302	1.063	-0.492	-0.0004	0.0210	0.0031
140	-1.291	0.959	-0.488	0.0229	0.0064	-0.1288
148	-0.124	0.092	-0.263	0.0386	-0.0459	-0.1545
149	-0.031	0.012	-0.197	0.0346	-0.0282	-0.0713
150	-0.004	-0.007	-0.097	0.0095	-0.0033	-0.0283
160	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	-0.0000

Para contemplar os valores obtidos na Tabela 4, tem-se como auxílio visual a Figura 36, sendo possível observar o deslocamento nos diversos nós. Pode-se observar que no nó 100, nó inicial, e no nó 160, nó final, tem-se todos os valores a 0, pois estes pontos são fixos, como foi dito anteriormente, eles estão ancorados.

O *software* CAESAR II calculou 22 nós para o deslocamento, onde se pode verificar que todos os nós, exceto o nó 100 e 160, têm seis graus de liberdade, D_x , D_y , D_z , R_x , R_y e R_z . Pelos valores que a Tabela 4, transmite, é possível verificar que o deslocamento obtido na tubagem é relativamente pequeno, em que o maior deslocamento apresentado é aproximadamente de 4 mm, mostrando que os apoios estão situados corretamente.

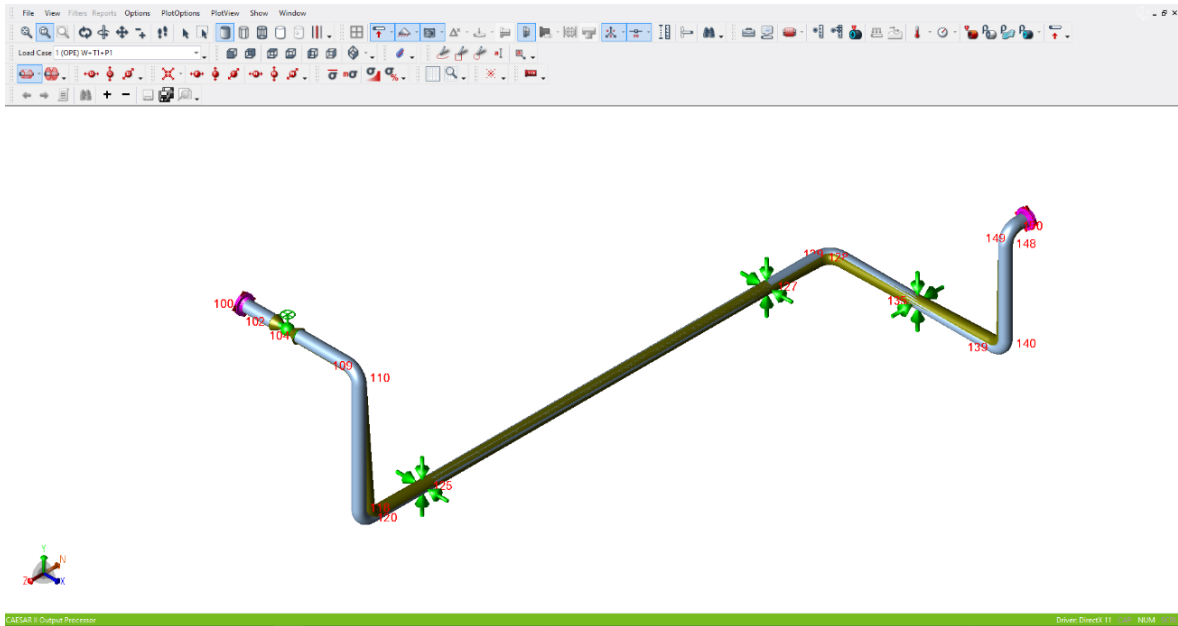


Figura 36 – Vista dos deslocamentos em 3D (retirado de (28))

Descrição do funcionamento

O módulo de descarga só é usado na trasfega de GNL, em que a operação começa pela conexão duas mangueiras flexíveis entre o camião-cisterna e o módulo de descarga.

O GNL começa a circular no módulo de descarga, passando pelo vaporizador ambiental, retornando ao camião-cisterna, ainda sem ser direcionado para o reservatório de GNL. Assim que a pressão no camião-cisterna atingir aproximadamente uma pressão de 6 bar, o GNL é direcionado para o reservatório de GNL. Quando o reservatório atingir 85% do seu nível, a trasfega é finalizada.

4.3 Módulo de armazenamento de GNL

O módulo de armazenamento tem como intuito armazenar o GNL e posteriormente processá-lo para o abastecimento de veículos a GNC. É constituído por um reservatório criogénico vertical específico para a utilização de GNL, um vaporizador de controlo de pressão, um vaporizador ambiental e um sistema de odorização.

4.3.1 Reservatório

O chamado reservatório de GNL é, na verdade, constituído por dois reservatórios, sendo o reservatório exterior em aço carbono, totalmente estanque, e o reservatório interior em aço inox, que contém o GNL armazenado. Entre os dois reservatórios existe um isolamento de perlite expandida, assim como uma câmara de vácuo. Com este isolamento entre os dois reservatórios, o GNL consegue permanecer durante dias a uma temperatura por volta dos -140°C. Caso este isolamento não existisse, o GNL em contato com a temperatura ambiente, iria vaporizar demasiado rápido e o GNL dentro do reservatório acabaria por ser direcionado para a atmosfera, pois a pressão do reservatório iria subir exageradamente depressa.

O reservatório a ser implementado é um reservatório de GNL de pequenas dimensões, com uma capacidade de armazenamento de 3 m³. O reservatório encontrava-se em *stock* há algum tempo e os outros projetos de postos de abastecimento utilizavam reservatórios de GNL com maior capacidade, 20, 60 e 80 m³. Devido a não ser aplicado a outro posto de abastecimento e também as viaturas previstas para abastecimento a GNC serem 10, este foi o reservatório a ser implementado no caso em estudo.

Instrumentação

A instrumentação utilizada no reservatório de GNL está em constante comunicação com o PLC Siemens. Na Tabela 5 está indicada a instrumentação utilizada no reservatório de armazenamento de GNL.

Tabela 5 - Instrumentação do reservatório de GNL (retirado de (28))

Designação	Tag
Transmissor de pressão	PT 50
Manómetro de pressão	PI 50
Indicador / Transmissor de nível	LIT 50

Toda a instrumentação deve ser adequada ao local onde vai ser implementada, como também a sua gama de variação. O transmissor de pressão (PT50) tem uma gama entre 0 e 16 bar,

pois é suficiente devido à pressão máxima do reservatório de GNL ser de 10 bar. O manómetro de pressão tem a mesma gama de variação, entre 0 e 16 bar. O indicador e transmissor de nível tem uma gama de variação entre 0 e 100%, sendo esta percentagem de nível convertida entre 4mA e 20mA.

Descrição do funcionamento

O transmissor de pressão envia para o PLC Siemens a pressão que está dentro do reservatório de GNL. O manómetro de pressão indica localmente a pressão em que se encontra o reservatório de GNL.

O indicador e transmissor de nível consiste num só equipamento capaz de indicar localmente o nível do reservatório de GNL, assim como enviar o nível para o PLC Siemens.

4.3.2 Equipamentos integrantes

O vaporizador de controlo de pressão, o vaporizador ambiental e o sistema de odorização são partes integrantes do reservatório de GNL.

Todos os reservatórios de GNL incluem um vaporizador de controlo de pressão, caso seja necessário aumentar a pressão do reservatório.

Devido ao reservatório de GNL ser de 3m³, considera-se que é um reservatório com uma baixa capacidade de armazenamento de GNL. Tipicamente neste tipo de reservatórios de baixa capacidade são integrados um vaporizador ambiental e um sistema de odorização.

4.3.2.1 Vaporizador de controlo de pressão

O vaporizador de controlo de pressão trata-se de um vaporizador ambiental de pequenas dimensões. A sua função é manter a pressão do reservatório de GNL acima de uma pressão mínima aceitável, para o correto funcionamento do posto de abastecimento.

Descrição do funcionamento

O controlo de pressão é feito com recurso a uma válvula pneumática, colocada na entrada do vaporizador de controlo de pressão.

O PLC Siemens está constantemente a ser informado da pressão do reservatório de GNL. Caso a pressão seja inferior a 3 bar (pressão na admissão do compressor de GN), o vaporizador de pressão entra em funcionamento, fazendo circular GNL, e conseqüentemente aumentado a pressão do reservatório. Quando a pressão atingir 4 bar, o vaporizador de controlo de pressão acaba com a circulação de GNL.

4.3.2.2 Vaporizador ambiental

O vaporizador ambiental possibilita a troca térmica entre o GNL e a temperatura ambiente, proporcionando a vaporização do GNL.

Instrumentação

A instrumentação associada ao vaporizador ambiental está em constante comunicação com o PLC Siemens.

Na Tabela 6 é indicada a instrumentação associada ao vaporizador ambiental.

Tabela 6 – Instrumentação associada ao vaporizador ambiental (retirado de (28))

Designação	Tag
Transmissor de temperatura	TT 200

Descrição do funcionamento

Na saída do vaporizador está instalado um transmissor de temperatura (TT200), que é responsável por monitorizar a temperatura após a vaporização. No caso de deteção de temperaturas baixas, inferior a 0°C, será dada ordem de fecho a uma válvula pneumática na entrada do vaporizador ambiental, interrompendo o fluxo de GN e parando o sistema de abastecimento por completo. O controlo de temperatura após a vaporização é bastante importante para não danificar o compressor, pois o compressor só admite temperaturas positivas na sua admissão.

4.3.2.3 Sistema de odorização

A odorização é feita com recurso a um composto químico conhecido como tetrahidrotiofeno (THT). O THT é um líquido volátil, incolor, com um forte odor desagradável e, sendo um produto inflamável, tem de ser manuseado com determinadas precauções e com equipamento para o efeito. Estas informações encontram-se mais detalhadas no Apêndice E.

O sistema de odorização é constituído de forma simplificada por um reservatório de armazenagem de THT.

Instrumentação

Quanto à instrumentação associada ao reservatório de THT, apenas é possível visualizar os valores fornecidos localmente, pois consiste somente em indicadores e não contempla nenhum transmissor.

Na Tabela 7 é indicada a instrumentação associada ao reservatório de THT.

Tabela 7 – Instrumentação associada ao reservatório de THT (retirado de (28))

Designação	Tag
Indicador de nível	LI 600
Indicador de pressão	PI 600

Descrição do funcionamento

A odorização é feita no troço de tubagem após a vaporização do GNL e antes do GN ser admitido no compressor. Quando o GN é vaporizado, uma pequena quantidade de GN é dividida da tubagem entre o vaporizador e o compressor e direcionada para o sistema de odorização. Ao atravessar o interior do reservatório de THT, o GN entra em contato com o THT, adquirindo o seu odor. Após a odorização do GN, este é direcionado para a tubagem entre o vaporizador e o compressor. É apenas necessário direcionar uma pequena porção de GN para ser odorizado, pois como foi dito anteriormente o THT possui um odor bastante acentuado.

4.4 Módulo de abastecimento de GNC

O módulo de abastecimento de GNC é a parte do posto de abastecimento responsável pela compressão, armazenamento e fornecimento do GNC.

4.4.1 Compressor de Gás Natural

O compressor utilizado no posto de abastecimento é um compressor de GN com três etapas de compressão, pois o GN chega na sua forma gasosa à admissão do compressor.

Instrumentação

A instrumentação associada ao compressor de GN está em constante comunicação com o PLC Schneider.

Na **Tabela 8** é indicada a instrumentação associada ao compressor de GN.

Tabela 8 – Instrumentação associada ao compressor de GN (retirado de (28))

Designação	Tag
Manómetro de pressão de aspiração	PI 002
Manómetro de pressão da 1ª etapa	PI 101
Manómetro de pressão da 2ª etapa	PI 102
Manómetro de pressão da 3ª etapa	PI 103
Manómetro de pressão do óleo	PI 108
Manómetro de pressão do blowdown	PI 109
Transmissor de pressão de aspiração	PT 001
Transmissor de pressão da 1ª etapa	PT 101
Transmissor de pressão da 2ª etapa	PT 102

Transmissor de pressão da 3ª etapa	PT103
Transmissor de pressão do óleo	PT 108

Toda a instrumentação utilizada no compressor de GN é da marca Wika e apresenta uma gama adequada à localização inserida. O manómetro de pressão de aspiração tem uma gama de 0 a 10 bar e o transmissor tem uma gama de 0 a 1 bar, pois caso a pressão seja inferior a 1 bar, o compressor para. O manómetro de pressão da 1ª etapa de compressão tem uma gama de 0 a 40 bar e o transmissor tem uma gama de 0 a 25 bar, pois a pressão à saída da 1ª etapa é de aproximadamente 18 bar. O manómetro de pressão da 2ª etapa de compressão tem uma gama de 0 a 160 bar e o transmissor tem uma gama de 0 a 125 bar, pois a pressão à saída da 2ª etapa é de aproximadamente 80 bar. O manómetro de pressão da 3ª etapa de compressão tem uma gama de 0 a 400 bar e o transmissor tem uma gama de 0 a 315 bar, pois a pressão à saída da 3ª etapa é de aproximadamente 285 bar. O manómetro de pressão do óleo tem uma gama de 0 a 16 bar e o transmissor tem uma gama de 0 a 10 bar, pois caso a pressão seja inferior a 1,8 bar, o compressor de GN para.

Descrição do funcionamento

O GN odorizado é admitido no compressor a uma pressão aproximadamente de 3 bar. O GN entra na primeira etapa de compressão, passa para a segunda etapa de compressão, e, por fim, a terceira etapa coloca o GN a uma pressão de 285 bar. À saída da terceira etapa, o GNC é direcionado para as baterias de armazenamento.

A unidade de compressão é ainda apoiada por um reservatório de despressurização, por forma a permitir a despressurização do compressor nas operações de arranque e paragem. Desta forma não será necessário fazer descargas de GN para a atmosfera, uma vez que o GN será totalmente reintroduzido na unidade de compressão. Este reservatório tem um volume de 80 L e uma pressão máxima de serviço de 10 bar, sendo equipado com uma válvula de segurança de 9 bar.

4.4.2 Armazenamento de GNC

Este módulo tem como função o armazenamento de GNC a uma pressão superior à pressão de abastecimento dos veículos. Desta forma existe sempre uma quantidade de GN disponível em armazenamento que permite que quando é solicitado o abastecimento de uma viatura, o compressor não tenha de arrancar, possibilitando o abastecimento imediato da viatura. Outra vantagem de se instalar baterias de armazenamento num posto de abastecimento é para armazenar o GNC a uma pressão superior à pressão de abastecimento, para que o tempo de abastecimento seja o menor possível, devido ao facto de existir um maior diferencial de pressão.

Instrumentação

Quanto à instrumentação associada às baterias de armazenamento de GNC, só é possível visualizar os valores fornecidos localmente, pois consiste somente em indicadores e não contempla nenhum transmissor, como se pode observar pela **Tabela 9**.

Tabela 9 – Instrumentação associada às baterias de armazenamento (retirado de (28))

Designação	Tag
Manómetro de pressão – Bateria de Armazenamento 1	PI 200
Manómetro de pressão – Bateria de Armazenamento 2	PI 300

Toda a instrumentação utilizada nas baterias de armazenamento é da marca Wika e apresenta uma gama adequada à localização inserida. Ambos os manómetros de pressão utilizadas são da marca Wika tendo uma gama entre 0 e 600 bar, pois é obrigatório pela legislação portuguesa o manómetro ter uma gama 1,5 vezes superior à pressão máxima de serviço do equipamento. A pressão máxima de serviço é de 300 bar, deste modo os manómetros de 0 a 600 bar são indicados para as baterias de armazenamento.

4.4.2.1 Painel de Alta Pressão

O painel de alta pressão está fixo a uma das baterias de armazenamento e contempla um vasto conjunto de equipamentos, tendo como finalidade o controlo e a regulação da pressão do GNC a fornecer à unidade de enchimento de GNC.

Instrumentação

No que diz respeito à instrumentação associada ao painel de alta pressão, **Tabela 10**, só é possível visualizar os valores fornecidos localmente, pois consiste somente em indicadores e não contempla nenhum transmissor.

Tabela 10 – Instrumentação associada ao painel de alta pressão (retirado de (28))

Designação	Tag
Manómetro de pressão do 1º estágio	PI 402
Manómetro de pressão do 2º estágio	PI 403
Manómetro de pressão das electroválvulas	PI 480
Manómetro de pressão à saída dos 2 estágios	PI 410
Manómetro de pressão após regulador	PI 700
Transmissor de pressão do 1º estágio	PT 402
Transmissor de pressão do 2º estágio	PT 403

Toda a instrumentação incorporada no compressor de GN é da marca Wika. O manómetro e o transmissor de pressão do 1º e do 2º tem uma gama de 0 a 400 bar, assim como o manómetro à saída dos 2 estágios. O manómetro de pressão após o regulador tem uma gama de 0 a 250 bar. O manómetro de pressão das electroválvulas tem uma gama de 0 a 16 bar.

Descrição do funcionamento

O compressor de GN comprime para as baterias de armazenamento, mas antes de o GNC entrar para as ditas baterias, passa pelo painel de alta pressão. Como se pode visualizar na Figura 37, o GNC sai do compressor e vai até ao coletor do 1º estágio, em que nesse ponto o GNC pode ser direcionado apenas para a bateria de armazenamento 1 ou para as duas baterias de armazenamento em simultâneo. Isto deve-se ao facto de existir uma válvula de retenção entre o 1º e o 2º estágio, e é essa mesma válvula o equipamento crucial de haver 2 estágios de pressão.

Para se perceber o funcionamento do painel de alta pressão é essencial saber o funcionamento de uma válvula de retenção. A válvula de retenção é uma válvula que só deixa passar o GNC caso a pressão seja mais baixa do lado para o qual o GNC se dirige.

Tome-se como exemplo as duas baterias de armazenamento estarem vazias e o compressor começar a comprimir. O GNC vai ser direcionado para a bateria de armazenamento 1, mas também para a bateria de armazenamento 2, pois a pressão que chega à válvula de retenção é maior do que a pressão que se encontra no 2º estágio.

Caso o 2º estágio esteja a uma pressão superior ao 1º estágio e o compressor comece a comprimir, então o GNC vai ser armazenado somente na bateria de armazenamento 1, pois a pressão no 1º estágio não consegue vencer a pressão no 2º estágio, logo a válvula de retenção não deixa passar GNC nesse sentido.

Quando houver um abastecimento, o PLC Schneider dá sempre prioridade ao 1º estágio, começando a abastecer o veículo. Quando a pressão no 1º estágio não for suficiente ou o abastecimento estiver perto do final, o PLC Schneider dá ordem de fecho ao 1º estágio e aciona o 2º estágio, abrindo a válvula pneumática respetiva a este estágio, enchendo por completo o veículo. Caso não houvesse 2º estágio, o veículo iria demorar mais alguns minutos a encher o seu reservatório, pois, ao aproximar-se o final do abastecimento, o diferencial de pressão no 1º estágio e no reservatório do veículo será cada vez menor. Deste modo, quando se aciona o 2º estágio, este contém um diferencial de pressão superior ao do reservatório do veículo, abastecendo de uma forma mais rápida.

As saídas dos 2 estágios estão ligadas a um regulador de pressão, regulado a 200 bar, pressão definida na legislação portuguesa para o abastecimento de viaturas a GNC.

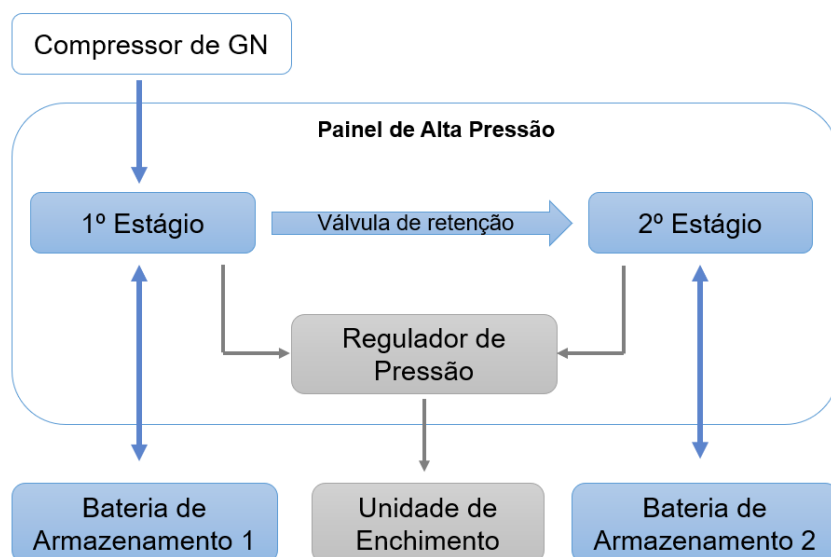


Figura 37 – Princípio de funcionamento do painel de alta pressão

4.4.3 Unidade de enchimento de GNC

A unidade de enchimento de GNC é o equipamento responsável por transferir o GNC desde o módulo de armazenamento de GNC até ao depósito do veículo.

Instrumentação

Seguidamente, na **Tabela 11** encontra-se a instrumentação associada à unidade de enchimento de GNC.

Tabela 11 – Instrumentação associada à unidade de enchimento de GNC (retirado de (28))

Designação	Tag
Manómetro de pressão	PI 710

Descrição do funcionamento

A operação de abastecimento é feita por qualquer utilizador, ou seja, pelo próprio condutor do veículo, pois todo o sistema encontra-se totalmente automático.

A unidade de enchimento é o equipamento que fornece o GNC aos veículos e, para isso, é necessário acoplar o bocal NGV1 ao veículo e recorrer ao sistema de gestão de

abastecimento autorizar o abastecimento. Quando o abastecimento for autorizado, a eletroválvula na entrada da unidade de enchimento abre, permitindo a passagem de GNC das baterias de armazenamento até ao reservatório do veículo. Quando a pressão de abastecimento estiver a 200 bar, sendo possível verificar no manómetro que se encontra na unidade de enchimento, significa que o reservatório da viatura está cheio, bastando desacoplar o bocal e colocá-lo de novo na unidade de enchimento. Quando o bocal é colocado no seu respetivo local, existe um fim de curso que é atuado, avisando o PLC Schneider que o abastecimento já está finalizado. No Apêndice F, encontra-se descrito o procedimento de abastecimento de um veículo a GNC.

4.5 Funcionamento geral do posto de abastecimento

De acordo com o fluxograma de processo apresentado na Figura 33, é possível verificar através da Figura 38, as várias etapas de armazenamento e de processamento do GN.

Na Figura 38 é possível observar o diagrama do processo do posto de abastecimento, assim como os seus equipamentos constituintes, que são:

1. Descarga de GNL;
2. Reservatório de GNL;
3. Vaporizador Ambiental;
4. Sistema de odorização;
5. Compressor de GN;
6. Bateria de armazenamento;
7. Unidade de enchimento de GNC.

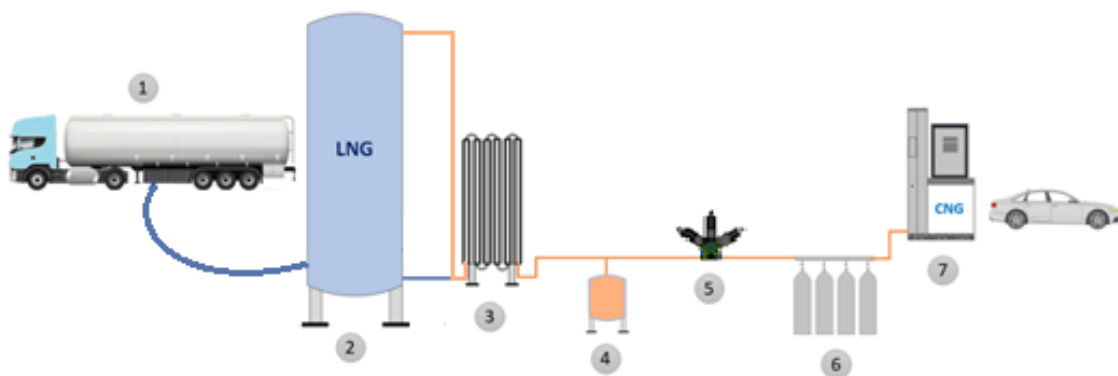


Figura 38 – Posto de abastecimento de GNL-C (retirado de (28))

Descrição geral do funcionamento

O GN chega ao posto de abastecimento na sua forma liquefeita (GNL) através de transporte em camião-cisterna (Figura 38 – 1). A descarga do GNL do camião-cisterna é realizada através de diferencial de pressão para o reservatório de GNL (Figura 38 – 2) do posto de abastecimento (Figura 38 – 2). No reservatório de GNL é armazenado o GNL até que este seja processado para as viaturas a GNC.

Por forma a obter o GNC nas condições de consumo, o GNL tem de ser vaporizado (Figura 38 – 3), odorizado (Figura 38 – 4) e posteriormente comprimido (Figura 38 – 5). De modo a existir GNC processado para o abastecimento de viaturas, o módulo de GNC inclui duas baterias de armazenamento de GNC (Figura 38 – 6) para abastecer as viaturas de forma rápida e não existir necessidade de arranque do sistema sempre que é realizado um abastecimento de GNC.

As viaturas a GNC são abastecidas através de uma unidade de enchimento de GNC (Figura 38 – 7), que está dotada de um bocal de abastecimento (NGV1).

Nos seguintes capítulos são explicados, de forma mais detalhada, os equipamentos constituintes, assim como todo o processo desde a descarga de GNL até ao abastecimento de um veículo a GNC.

Mudanças de estado do GN ao longo do posto de abastecimento

Para demonstração das mudanças de estado, da temperatura e da pressão ao longo de todo o processo de abastecimento, é apresentada a **Tabela 12** – Mudanças de estado do fluido ao longo do processo. A informação apresentada é referente após a passagem do GN por esse determinado equipamento. Tome-se como exemplo, o GNL ao sair pela fase gasosa do reservatório de GNL, o seu estado será gasoso, a uma temperatura de -140 °C, a uma pressão de 3 bar e sem odor.

Os valores apresentados relativos à temperatura e pressão são aproximados, podendo existir variações.

Tabela 12 – Mudanças de estado do fluido ao longo do processo

Equipamento	Estado	Temperatura	Pressão	Odorizado
Descarga de GNL (Camião-cisterna)	Líquido (GNL)	-140 °C	6 bar	Não
Reservatório de GNL – fase líquida (azul)	Líquido (GNL)	-140 °C	3 bar	Não
Reservatório de GNL – fase gasosa (laranja)	Gasoso (GN)	-140 °C	3 bar	Não
Vaporizador ambiental	Gasoso (GN)	Temperatura Ambiente (>0 °C)	3 bar	Não
Sistema de Odorização	Gasoso (GN)	Temperatura Ambiente (>0 °C)	3 bar	Sim
Compressor de GN	Gasoso (GNC)	Temperatura Ambiente (>0 °C)	285 bar	Sim
Módulo de armazenamento de GNC	Gasoso (GNC)	Temperatura Ambiente (>0 °C)	245 bar	Sim
Unidade de enchimento	Gasoso (GNC)	Temperatura Ambiente (>0 °C)	200 bar	Sim

Página intencionalmente deixada em branco

5. Implementação de um posto de abastecimento de gás natural

O posto de abastecimento foi implementado em Alcogulhe – Leiria, em instalações privadas de forma a abastecer a sua frota.

O posto de abastecimento de GNL-C é constituído pelos vários módulos apresentados no capítulo 4 e outros dois módulos, o módulo de equipamentos auxiliares e o módulo de gestão de abastecimentos.

5.1 Módulo de controlo

O módulo de controlo é constituído por um sistema de controlo, que monitoriza os parâmetros de processo, assim como as condições de segurança do meio envolvente. O posto de abastecimento está dotado de dois quadros de controlo, localizados no interior do edifício de controlo, representado na Figura 39.



Figura 39 – Edifício de controlo (retirado de (28))

Na Figura 40 está ilustrada a interface gráfica do estado de funcionamento do posto de abastecimento, sendo possível observar-se através do HMI instalado na porta do quadro principal.

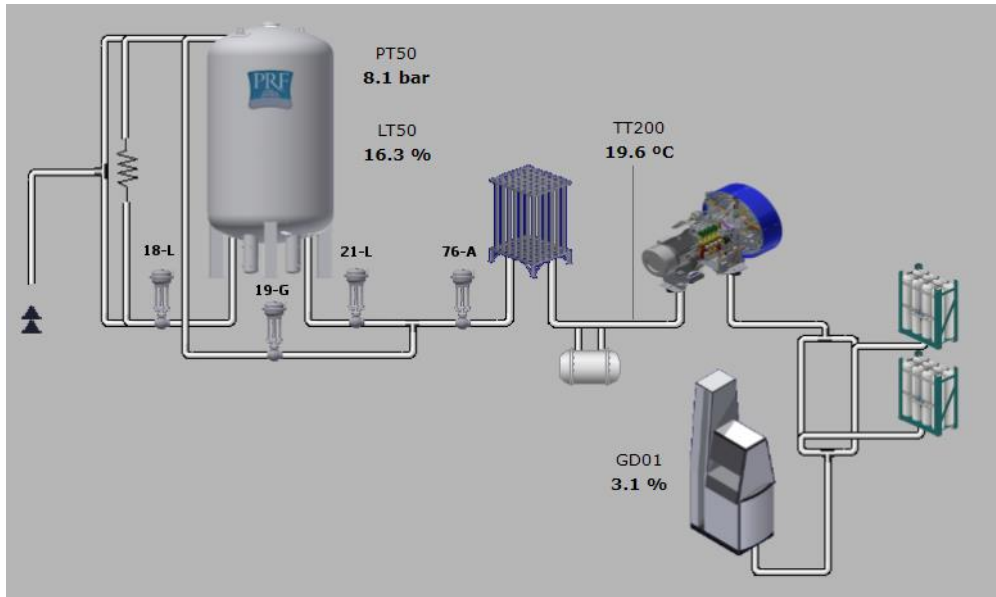


Figura 40 – Visualização do posto de abastecimento através do HMI (retirado de (28))

5.2 Módulo de descarga de GNL

Após se ter verificado através do *software* CAESAR II que os valores dos deslocamentos da tubagem de descarga não eram significativos, procedeu-se à implementação da referida tubagem, como se pode visualizar na Figura 41, ponto A a B.



Figura 41 – Tubagem de descarga implementada (retirado de (28))

Na Figura 42, observa-se a tubagem de descarga implementada com os referidos apoios, de acordo com o projetado.



Figura 42 – Apoios implementados de acordo com o projetado (retirado de (28))

O módulo de descarga de GNL contém um vaporizador, de modo a ser possível executar a trasfega de GNL. O vaporizador ambiental tem como finalidade aumentar e manter a pressão no camião-cisterna superior ao reservatório de GNL. O vaporizador ambiental utilizado é um vaporizador de construção horizontal do tipo “V”, cujas características estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Características do vaporizador ambiental da descarga (retirado de (28))

Pressão de Serviço	15 bar
Tipo	V6
Caudal	40 Kg/h

5.3 Módulo de armazenamento de GNL

O módulo de armazenamento de GNL consiste num reservatório criogénico, onde o GNL é armazenado no posto de abastecimento, no qual estão integrados um vaporizador de controlo de pressão, um vaporizador ambiental e um sistema de odorização.

5.3.1 Reservatório

Na Figura 43 é possível observar o reservatório de GNL implementado, sendo um reservatório de pequenas dimensões, com capacidade de armazenar 3m³ de GNL.



Figura 43 – Reservatório de GNL (retirado de (28))

Caraterísticas

As caraterísticas do reservatório de GNL estão associadas às condições básicas de projeto para o reservatório, sendo apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Condições básicas de projeto do reservatório de GNL (retirado de (28))

Capacidade útil de GNL	3 m ³
Pressão de projeto	11 bar
Pressão máxima de serviço	10 bar
Temperatura de projeto	-196°C / 50°C
Isolamento	Vácuo + Perlite
Toma de vácuo	Teledyne DV 6
Válvulas de segurança	2 grupos de 2 válvulas de segurança/grupo
Material da Tubagem	Aço Inox

Material do Reservatório Interior	Aço Inox
Material do Reservatório Exterior	Aço Carbono
Número de Apoios	3

O reservatório encontra-se protegido por um duplo sistema de válvulas de segurança, com quatro válvulas na totalidade, montadas sobre uma válvula de três vias de acionamento manual, em comunicação permanente com zona superior do interior do reservatório. Na Figura 44, é possível visualizar as quatro válvulas de segurança incorporadas no reservatório de GNL, estando geralmente apenas duas em operação em simultâneo. A cada seis meses, é realizada uma manutenção ao posto de abastecimento, que inclui a mudança do grupo de válvulas de segurança.



Figura 44 – Válvulas de segurança do reservatório de GNL (retirado de (28))

A descarga das válvulas de segurança está coletada e dirigida para pontos que não provoquem uma atmosfera explosiva, evitando estragos nos elementos estruturais do reservatório e às pessoas ou elementos que possam estar próximos. As válvulas de segurança estão calibradas à pressão de 10 bar, pois, como está descrito, nas condições básicas de projeto do reservatório de GNL, a pressão máxima é de 10 bar.

Toda a instrumentação associada ao reservatório de GNL é visível na Figura 45.

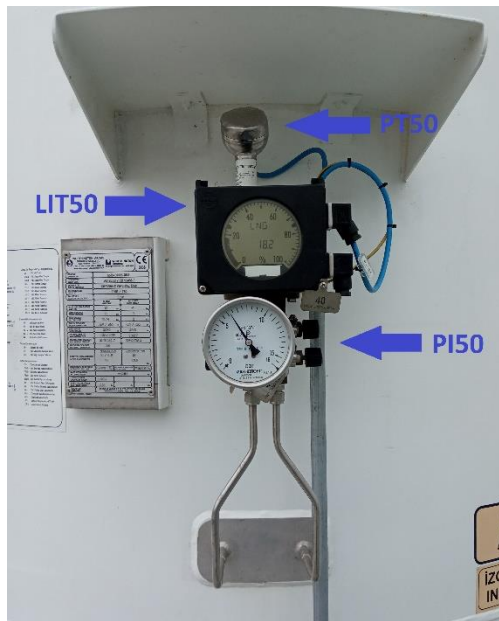


Figura 45 – Instrumentação instalada no reservatório de GNL (retirado de (28))

5.3.2 Equipamentos integrantes do reservatório de GNL

Os equipamentos integrantes do reservatório de GNL são o vaporizador de controlo de pressão, o vaporizador ambiental e o sistema de odorização, como se pode observar na Figura 46 e na Figura 47.



Figura 46 – Equipamentos integrantes do reservatório de GNL de baixa capacidade (retirado de (28))

5.3.2.1 Vaporizador de controlo de pressão

O vaporizador de controlo de pressão é constituído por tubos alhetados de alumínio, unidos pelos extremos a um coletor, ilustrado na Figura 47.



Figura 47 – Vaporizador de controlo de pressão (retirado de (28))

5.3.2.2 Vaporizador ambiental

O vaporizador ambiental integrado na estrutura exterior do reservatório de GNL é constituído por um conjunto de tubos alhetados em alumínio.

O vaporizador está protegido por uma válvula de segurança capaz de descarregar o GN, suficiente para evitar que a pressão possa exceder a pressão máxima de serviço, sendo que a pressão de taragem da válvula deve ser menor ou igual à pressão de cálculo do vaporizador.

As características do vaporizador ambiental são as indicadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Características do vaporizador ambiental (retirado de (28))

Fluido	GNL
Caudal Nominal	40 Kg/h
Material de construção (estrutura e alhetas)	Alumínio - Al 6060
Pressão de Serviço	40 bar

Temperatura de Projeto	-196°C / + 50°C
-------------------------------	-----------------

5.3.2.3 Sistema de odorização

O sistema de odorização permite a odorização do GN nas proporções legalmente definidas.

Caraterísticas

O reservatório de THT possui duas tubagens, uma de entrada e outra de saída, paralelamente ligadas ao troço de tubagem que liga a saída do vaporizador e a entrada do compressor, conforme ilustrado na Figura 48.



Figura 48 – Reservatório de THT e sua instrumentação (retirado de (28))

O reservatório de THT apresenta as caraterísticas detalhadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Caraterísticas do reservatório de THT (retirado de (28))

Fluido	THT
Capacidade do Reservatório	25 litros

Pressão de Armazenamento	5 bar
Material	Aço Inox

Na entrada e saída do reservatório de THT, existem duas válvulas de seccionamento para efeitos de manutenção.

5.4 Módulo de abastecimento de GNC

O módulo de abastecimento de GNC é constituído por um compressor de GN, duas baterias de armazenamento de GNC, um painel de alta pressão e uma unidade de enchimento de GNC.

5.4.1 Compressor de Gás Natural

O compressor utilizado no posto de abastecimento é um compressor de GN da marca CIRRUS, como demonstrado na Figura 49.



Figura 49 – Compressor de GN (retirado de (28))

O compressor de GN possui um sistema de despressurização que redireciona o GN para o sistema, por forma a evitar a libertação de GN para a atmosfera.

Caraterísticas

O compressor de GN possui as caraterísticas apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Caraterísticas do compressor de GN (retirado de (28))

Fluido	GN
Caudal GN	42 m ³ /h
Pressão máxima de trabalho	315 bar
Estágios de compressão	3
Pressão de entrada	3 bar
Potência do motor	15 kW
Tensão de alimentação	380/420 V
Corrente nominal	25,5 A
Frequência	50 Hz
Marcação ATEX	EX II 2G EEx c IIB T2 X
Nível de barulho a 5 metros	55 dB

O PLC Schneider está a monitorizar constantemente os valores enviados pelos transmissores de pressão, para um correto funcionamento do compressor, mas também para manter a segurança do equipamento. Deste modo, se algum transmissor enviar um valor que não é aceitável, o compressor para, fazendo parar todo o posto de abastecimento. O compressor entra em paragem nos seguintes casos:

- Pressão baixa à entrada;
- Pressão alta à entrada;
- Pressão baixa à saída;
- Pressão alta à saída;

- Pressão do óleo baixa;
- Temperatura alta na compressão.

Além do compressor parar nas situações descritas anteriormente associadas a anomalias do compressor de GN, este pode ainda parar também por:

- Detecção de GN;
- Botoneira de emergência pressionada.

O compressor apesar de possuir as várias seguranças elétricas apresentadas, possui também seguranças mecânicas, mais propriamente válvulas de segurança. Como está evidente na Tabela 17, o compressor contempla três etapas de compressão, logo para uma completa proteção, cada etapa possui uma válvula de segurança. A primeira etapa de compressão comprime a 18 bar e a sua válvula de segurança é de 35 bar, a segunda etapa de compressão comprime a 80 bar e a sua válvula de segurança é de 130 bar e a terceira etapa de compressão comprime a 285 bar e a sua válvula de segurança é de 330 bar.

5.4.2 Armazenamento de GNC

O módulo de armazenamento de GNC é constituído por duas baterias de armazenamento de GNC, **Figura 50** – Baterias de armazenamento de GNC, e um painel de alta pressão, Figura 51.



Figura 50 – Baterias de armazenamento de GNC (retirado de (28))

Caraterísticas

As duas baterias de armazenamento de GNC instaladas no posto de abastecimento dispõem de oito cilindros de GNC cada, interligados entre si, contendo vários elementos de proteção, conforme mencionado na Tabela 18.

Tabela 18 – Caraterísticas do armazenamento de GNC (retirado de (28))

Número de baterias de armazenamento	2
Número de cilindros por bateria	8
Volume de cada cilindro	80 L
Volume total da bateria de armazenamento	1280 L
Pressão máxima de funcionamento	300 bar
Elementos de proteção por bateria de armazenamento	Coletor com válvula de corte Válvula de alívio Fusível térmico em cada cilindro

5.4.2.1 *Painel de Alta Pressão*

O painel de alta pressão tem dois estágios de pressão, estando cada estágio interligado com uma bateria de armazenamento. A existência de dois estágios de pressão é uma grande vantagem para o posto de abastecimento, especialmente em relação ao tempo de abastecimento aos veículos, que é muito menor.

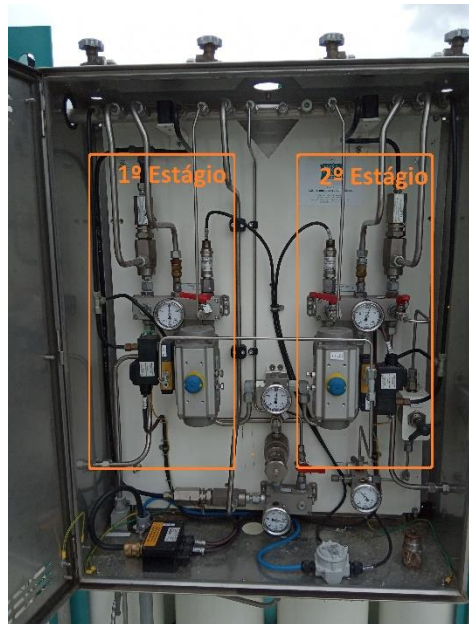


Figura 51 – Painel de alta pressão (retirado de (28))

5.4.3 Unidade de enchimento de GNC

A unidade de enchimento de GNC, Figura 52, permite o abastecimento de GNC às viaturas, estando dotada de um bocal NGV1.



Figura 52 – Unidade de enchimento de GNC (retirado de (28))

Caraterísticas

As características da unidade de enchimento de GNC são indicadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Caraterísticas da unidade de enchimento de GNC (retirado de (28))

Fluido	GNC
Tipo de bocal	NGV1
Níveis de pressão para abastecimento	1
Pressão máxima de funcionamento	260 bar
Capacidade de abastecimento	Até 80 Kg/min
Pressão de enchimento	200 bar
Temperatura de operação	-10 / +50°C
Tensão elétrica	230V
Frequência	50 Hz

5.5 Módulo de equipamentos auxiliares

O módulo de equipamentos auxiliares é constituído por um sistema de ar comprimido, necessário para a atuação de válvulas pneumáticas e um sistema de segurança diversificado, que inclui um detetor de gás, seis botoneiras de emergência e um sistema de equipotencialização.

5.5.1 Sistema de ar comprimido

O sistema de ar comprimido, Figura 53, está localizado no interior do edifício de controlo. Este sistema é responsável pelo acionamento das válvulas pneumáticas da instalação, sendo constituído por um reservatório, que na sua entrada contém uma linha de ar comprimido vinda diretamente das instalações da empresa. A saída do compressor liga a dois reguladores

de pressão. Um dos reguladores serve para regular a pressão para uma pistola de ar e o outro regulador alimenta um coletor comum e daí o ar comprimido é direcionado para cada eletroválvula. Quando a respectiva eletroválvula for atuada através do PLC Siemens, a válvula pneumática irá ser atuada também.



Figura 53 – Sistema de ar comprimido (retirado de (28))

5.5.2 Sistema de Segurança

Além dos equipamentos de segurança inerentes ao processo de cada módulo da unidade, existe no posto de abastecimento um vasto conjunto de equipamentos adicionais, destinados a garantir a segurança das pessoas e bens. Este sistema inclui um detetor de GN, seis botoneiras de emergência e um sistema de equipotencialização.

Detetor de gás

O sistema de deteção de gás tem como finalidade monitorizar continuamente a presença de gás no ponto crítico do posto de abastecimento.

O rearme do posto de abastecimento no caso de deteção de gás terá de ser realizado de forma manual por um técnico, através do reconhecimento do alarme no quadro de controlo principal.

Botoneiras de emergência

Com a finalidade de possibilitar a paragem de qualquer processo no caso de deteção de alguma anomalia, por algum técnico ou por algum utilizador, encontram-se instaladas no interior e no exterior do perímetro do posto de abastecimento seis botoneiras de emergência.

As botoneiras de emergência do posto de abastecimento encontram-se localizadas nos seguintes locais:

- Quadro de controlo principal;
- Quadro de controlo secundário;
- Módulo de descarga de GNL;
- Compressor de GN;
- Baterias de armazenamento;
- Unidade de enchimento de GNC.

Sistema de equipotencialização

De modo a equipotencializar os camiões-cisterna de transporte de GNL com o potencial do posto de abastecimento, existe um sistema de equipotencialização ao qual estes veículos deverão ser ligados antes do início de cada trasfega.

Este sistema é constituído por uma pinça que é responsável pela ligação entre o camião-cisterna e o posto de abastecimento. Deste modo após a ligação desta pinça ao camião-cisterna, este fica com o mesmo potencial da instalação.

5.6 Módulo de gestão de abastecimentos

O módulo de gestão de abastecimentos consiste num módulo de autorização para se fazer o controlo e a gestão dos abastecimentos. O operador depois de acoplar o bocal ao seu veículo dirige-se ao módulo de gestão de abastecimentos, Figura 54, pedindo autorização de abastecimento ao passar um cartão no leitor de cartões. Ao passar o cartão, o PLC Schneider abre a eletroválvula de entrada na unidade de enchimento, deixando o GNC entrar para o depósito do veículo. No fim do abastecimento, o sistema de pagamento envia a quantidade

de GNC abastecida para *software* de abastecimentos, ficando todos os dados registados para posterior visualização e controlo dos abastecimentos efetuados.



Figura 54 – Módulo de gestão de abastecimentos (retirado de (28))

5.7 Resultados

Como se pôde verificar pelo posto de abastecimento implementado, este posto não possui a típica configuração de um posto de GNC a partir de GNL, conforme descrito no subcapítulo 3.2.

O posto implementado foi construído com grande parte dos equipamentos já utilizados em outras obras e estavam nas instalações da PRF em *stock*. Os equipamentos que tinham sido utilizados em outros projetos passados foram o reservatório de GNL, o compressor de GN e a unidade de enchimento de GNC. Devido a ser ter estes equipamentos disponíveis, foi necessário alterar a configuração do posto de abastecimento. A configuração foi alterada essencialmente por o reservatório de GNL conter incorporado o vaporizador ambiental. Deste modo, teve-se que instalar um compressor de GN e não uma bomba de compressão de GNL. Esta mudança para um compressor de GN devido à tipologia irá trazer a longo prazo maiores custos de compressão como se pode verificar pela análise entre a Tabela 20 e Tabela 21. Admitiu-se que o preço de energia é de 0,15 €/kWh.

Na Tabela 20, os dados utilizados foram para o compressor de GN instalado no posto de abastecimento, que comprime o GN já vaporizado. O custo de compressão por m³ de GNC é 0,0536 €.

Na Tabela 21, admitiu-se uma bomba de compressão com o mesmo consumo elétrico (15kWh). O caudal da bomba de compressão é de 0,486 m³/h, sendo o modelo em comparação: Vanzetti VT-1 32 25 (38). Para se instalar esta bomba de compressão, o vaporizador ambiental, teria que estar posicionado a jusante e não a montante da bomba de compressão de GNL. Assim, à saída da bomba de compressão, o GNL estaria a uma pressão aproximada de 285 bar, como à saída do compressor de GN. A diferença é que à saída da bomba de compressão, o GN está no estado líquido (GNL a 285 bar) e à saída do compressor de GN, o GN está no estado gasoso (GNC a 285 bar). Após o GNL sair da bomba de compressão, existirá a troca térmica de GNL para GNC através do vaporizador ambiental. Como referido anteriormente, 1m³ de GNL corresponde a 600 m³ de GN, fazendo com que o caudal da bomba de compressão em GNC seja de 291,6 m³/h. Foi verificado que o caudal da bomba de compressão é superior ao compressor de GN, por isso o custo de produção de GNC com recurso a uma bomba de compressão é inferior. Em termos de custos de exploração, seria uma vantagem a instalação ter uma bomba de compressão, por sua vez não é possível devido ao reservatório de GNL possuir um vaporizador.

A vantagem desta instalação é o seu custo de investimento, pois a empresa já dispõe de praticamente todos os equipamentos disponíveis.

Tabela 20 – Preço de compressão de GNC através do compressor de GN instalado

Consumo elétrico	15 kWh
Preço de energia	0,15 €/kWh
Caudal compressor de GN	42 m ³ /h
Custo de compressão por 42m³ de GNC	2,25 €
Custo de compressão por m³ de GNC	0,0536 €

Tabela 21 – Preço de compressão de GNC através de uma bomba de compressão

Consumo elétrico	15 kWh
Preço de energia	0,15 €/kWh

Caudal bomba compressão de GNL	0,486 m ³ /h
Caudal de GNC real após vaporização	291,6 m ³ /h
Custo de compressão por 291,6 m³ de GNC	2,25 €
Custo de compressão por m³ de GNC	0,0102 €

Página intencionalmente deixada em branco

6. Conclusão

Ao longo deste relatório foi descrita a implementação de um posto de abastecimento de GNC a partir de GNL de uma frota privada.

O tipo de instalação implementada foi a de um posto de abastecimento de GNL-C, por forma a dar resposta às exigências do cliente. Dependendo dos requisitos de cada projeto, existe uma variedade de tipos de postos de abastecimento e tecnologias e, dentro destas, ainda é possível fazer modificações de acordo com as especificações do cliente.

O posto de abastecimento de GNL-C implementado não apresenta a típica configuração, devendo-se essencialmente ao facto de o reservatório de GNL incluir um vaporizador ambiental fixo à sua estrutura exterior. Por este motivo em especial, a definição e montagem de equipamentos posteriores ao reservatório de GNL foi distinta de um posto de abastecimento de GNL-C tradicional e, por consequente, o seu funcionamento. Tipicamente em reservatórios de GNL de maiores dimensões não é instalado um vaporizador ambiental na estrutura lateral, somente um pequeno vaporizador de controlo de pressão na parte inferior do reservatório. Assim, à saída do reservatório de GNL, o GN encontra-se no seu estado liquefeito, sendo direccionado para uma bomba de compressão criogénica. O GNL é comprimido e posteriormente direccionado até aos vaporizadores de alta pressão, convertendo o GN para o estado gasoso, o chamado GNC. O GNC é odorizado com recurso a um sistema de odorização e posteriormente direccionado para as baterias de armazenamento.

Como o reservatório de GNL destinado ao posto de abastecimento em estudo continha um vaporizador ambiental incorporado na sua estrutura e também um sistema de odorização, teve-se que optar por uma escolha diferente no equipamento para compressão do GN. O GNL ao sair do reservatório de GNL é convertido em GN e seguidamente é odorizado. Como o GN já se encontra no estado gasoso, o equipamento usado para a compressão foi um compressor de GN, com capacidade para comprimir gases. O compressor comprime o GN até 285 bar, sendo armazenado nas baterias de armazenamento.

Conforme verificado pelos resultados obtidos no subcapítulo 5.7 comparando o caudal de uma bomba de compressão criogénica com o caudal um compressor de GN com a mesma potência eléctrica, o caudal da bomba de compressão criogénica é superior ao do compressor de GN. Deste modo, ao utilizar-se o compressor de GN, ter-se-á custos de compressão superiores comparativamente a uma bomba de compressão criogénica, pois é necessário

mais tempo de compressão para atingir o mesmo volume de GNC. Com estes resultados, verifica-se que a instalação de um compressor de GN face à instalação de uma bomba de compressão criogénica em termos de custos de compressão é uma desvantagem.

Apesar dos custos de compressão não serem os mais rentáveis, o posto de abastecimento implementado continua a ser uma mais-valia para a empresa. A PRF - Gas Solutions, ao substituir parte da sua frota de diesel por GNC, terá uma redução nos custos do combustível utilizado, como se pode verificar pelos resultados do estudo da ADAC apresentados no subcapítulo 2.9.3. Uma grande vantagem na construção deste posto de abastecimento foi que grande parte dos equipamentos utilizados se encontravam disponíveis nas instalações da PRF- Gas Solutions, sendo reaproveitados para esta instalação. Atualmente, a instalação não se encontra em funcionamento, devido estar ainda a decorrer o processo de licenciamento na DGE e no IPQ.

A utilização de GNC como combustível dos veículos apresenta diversas vantagens, entre as quais, o facto de ser menos poluente, mais seguro e mais económico, em termos de manutenção do veículo, que os combustíveis convencionais. Além disso, o GNC pode ser utilizado em diferentes tipologias de combustão dos veículos, entre os quais, os dedicados, os bi-fuel e os dual-fuel.

Contudo, existem desvantagens associadas à utilização do GNC como combustível veicular, nomeadamente a baixa eficiência do motor, o elevado custo do veículo, o reduzido número de postos de abastecimento, a baixa autonomia comparada com um veículo tradicional e a redução de espaço devido ao sistema de armazenamento no veículo. Mais ainda, como neste caso prático o GNC é obtido a partir de GNL, existe ainda a necessidade do processo de odorização do GNC.

Referências bibliográficas

1. Esposende Ambiente. Gás Natural. [Online]. [cited 2020 october 19]. Available from: <https://www.esposendeambiente.pt/index.php/energias-nao-renovaveis/iii-gas-natural.html>.
2. Shen DM. Estudo da viabilidade técnica de um ciclo de liquefação de gás natural de pequena escala. 2006. São Paulo.
3. U.S. Energy Information Administration. [Online]. [cited 2020 december 2]. Available from: <https://www.eia.gov/>.
4. Met Group. Energy Insight. [Online]. [cited 2020 december 2]. Available from: <https://group.met.com/energy-insight/uses-of-natural-gas/5>.
5. Index Mundi. [Online]. [cited 2020 october 20]. Available from: <https://www.indexmundi.com/world/#Energy>.
6. CIA. The World Factbook. [Online]. 2020. Available from: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/>.
7. Funcionamento do mercado de gás natural - Análise na perspetiva concorrencial. Lisboa, Portugal: ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; 2019.
8. NaturalGas.org. História. [Online]. [cited 2019 november 2]. Available from: <http://naturalgas.org/overview/history/>.
9. Gás - A História Natural. [Online].: Fundação Galp Energia; 2014.
- 10 Adriatic LNG. LNG History. [Online]. [cited 2019 december 15]. Available from: <https://www.adriaticlng.it/en/the-terminal/why-lng/lng-history>.
- 11 Ordem dos Engenheiros. A Rede Nacional de Transporte de Gás Natural. [cited 2011 october 11]. Portugal.
- 12 APVGN. Postos em Portugal. [Online]. [cited 2020 december 15]. Available from: <https://www.apvgn.pt/index.php/postos-em-portugal>.

- 13 Gasnam. [Online]. [cited 2020 november 28]. Available from: <https://gasnam.es/>.
- 14 REN. [Online]. [cited 2020 september 20]. Available from: <https://ren.pt/>.
- 15 Conserve Energy Future. [Online]. [cited 2020 september 15]. Available from: <https://www.conserve-energy-future.com/pros-and-cons-of-natural-gas.php>.
- 16 Environmental Science.org. [Online]. [cited 2020 september 16]. Available from: <https://www.environmentalscience.org/natural-gas>.
- 17 Smil V. Natural Gas - Fuel for the 21st Century. 1st ed. Reino Unido: Wiley; 2015.
- 18 Dourogás Renovável. [Online]. [cited 2020 november 22]. Available from: <https://dourogasrenovavel.pt/biometano/>.
- 19 NGVA Europe. [Online]. [cited 2020 october 4]. Available from: <https://www.ngva.eu/>.
- 20 Ronceros NG. Dissertação de Mestrado - Simulação do Processo de Liquefação de Gás Natural APCI C3MR. [cited 2008 october]. Repositório Pontifícia Universidade Católica Do Rio de Janeiro.
- 21 Air Products. [Online]. [cited 2020 may 16]. Available from: <https://www.airproducts.com>.
- 22 Tecoveritas. Dedicated to innovation. [Online]. [cited 2020 june 17]. Available from: <https://www.tecoveritas.net/>.
- 23 OffShore Energy. [Online]. [cited 2020 may 6]. Available from: <https://www.offshore-energy.biz/>.
- 24 BS Energy. [Online]. [cited 2020 september 27]. Available from: <http://bsenergy.com.br/>.

- 25 Hussain MS. Introduction, Advantages and Chemistry of Liquefied Natural Gas. Federal Urdu University of Arts, Science and Technology, Department of Chemistry.
- 26 Marques JMC. Análise da Viabilidade Económica de Operações de Abastecimento de Gás Natural Liquefeito como Combustível Marítimo em Portugal. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa; 2019.
- 27 Khan MI, Yasmin T, Shakoor A. Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. Elsevier. 2015.
- 28 PRF - Gas Solutions. [Online]. [cited 2020 january 10]. Available from: <https://www.prf.pt/>.
- 29 Economides MJ, Wang X, Colafemmina F, Tomaselli VN. Upstream Stranded Raw Gas Management as Compressed Natural Gas. In IPTC - International Petroleum Technology Conference; 2013; China.
- 30 U.S. Department of Energy - Energy Efficiency & Renewable Energy. Alternative Fuels Data Center. [Online]. [cited 2020 october 2]. Available from: <https://afdc.energy.gov/>.
- 31 Compressed natural gas: a viable transport fuel. The Engineers Journal. 2011; 65.
- 32 Ramadhas AS. Alternative Fuels for Transportation: CRC Press; 2011.
- 33 Caral K. Compressed natural gas (CNG). 2020.
- 34 Parrott KS. Principles of natural gas odorization. Houston, Texas: k2controls, inc.
- 35 Gaz CdRdled. Study on the cost-effectiveness of natural gas (CNG or compressed natural gas) used as fuel in cars. ; 2018.
- 36 Linde Engineering. [Online]. [cited 2020 september 20]. Available from: <https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/lng-and-natural-gas-processing-plants/index.html>.

- 37 Chart. [Online]. [cited 2020 october 15]. Available from: <https://www.chartindustries.com/Energy/LNG-Solutions-Equipment>.
- 38 Technology VC. [Online]. [cited 2021 may 26]. Available from: <https://www.vanzettiengineering.com/>.
- 39 Gás Natural Distribuição. [Online]. [cited 2020 july 12]. Available from: <https://galpgasnaturaldistribuicao.pt/gas-natural/o-que-e>.
- 40 REN - Gasodutos SA. Gas Properties. [Online]. [cited 2020 agost 15]. Available from: <https://www.mercado.ren.pt/PT/Gas/InfoMercado/Documentacao/BibOutros/GasProperties.pdf>.
- 41 Galp Energia. [Online]. [cited 2020 11 24]. Available from: <https://galp.com/pt/>.
- 42 Edp - Gás Serviço Universal. [Online]. [cited 2020 november 18]. Available from: <https://www.edpgassu.pt/>.
- 43 Direção-Geral de Energia e Geologia. [Online]. [cited 2020 october 29]. Available from: <https://www.dgeg.gov.pt/>.
- 44 Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information. [Online]. [cited 2020 June 7]. Available from: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0677.htm>.

Apêndices

Página intencionalmente deixada em branco

Apêndice A

Caraterísticas do GN

O GN é constituído por vários componentes, estando todos eles representados na Tabela 22, juntamente com os dados referentes a cada componente específico, como percentagem constituinte, peso molecular, ponto de ebulição e ponto de fusão (39) (40).

Tabela 22 – Composição do GN

Componente	Fórmula	% molar	Peso Molecular (g/mol)	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de fusão (°C)
Metano	CH ₄	87,885	16,043	-161,6	-182,5
Etano	C ₂ H ₆	8,056	30,07	-88,6	-183,3
Propano	C ₃ H ₈	1,378	44,097	-42,0	-187,7
Dióxido de carbono	CO ₂	1,266	44,01	-78,46	-56,57
Azoto	N ₂	1,088	28,013	-195,5	-209,9
n-Butano	nC ₄ H ₁₀	0,158	58,124	-0,5	-138,4
i-Butano	iC ₄ H ₁₀	0,108	58,124	-11,8	-159,6
i-Pentano	iC ₅ H ₁₂	0,022	72,151	27,8	-160,0
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	0,02	86,18	69,0	-94,0
n-Pentano	nC ₅ H ₁₂	0,018	72,151	36,06	-129,8
Sulfeto de hidrogénio	H ₂ S	0,001	34,1	-60,2	-85,7

Após se verificar os elementos constituintes do GN, são apresentadas as propriedades físico-químicas do GN (39) (40):

- Peso molecular: 18,192 g/mol;
- Massa volúmica: 0,8141 kg/m³;

- Densidade relativa: 0,6297;
- Poder Calorífico Superior (P.C.S.): 11,8 kWh/m³;
- Poder Calorífico Inferior (P.C.I.): 10,66 kWh/m³.

As principais características e riscos da manipulação do GN são (28):

- Invisível;
- Em conjunto com o ar, forma uma atmosfera explosiva com risco de explosão no caso de existir um ponto de ignição;
- Asfixiante;
- Nocivo se em contacto com os olhos e a pele.

Sempre que se manipule deve utilizar-se (28):

- Ventilação suficiente;
- Detetor de metano.

Apêndice B

Relação entre m³ e kWh

Os dados económicos nos subcapítulos seguintes podem ser analisados de diversas formas, ou seja, em diversas unidades, m³, kWh, MWh e TWh. É bastante usual o GN ser apresentado em m³, pois é a sua unidade padrão, porém devido ao facto de os dados económicos apresentados serem bastante extensos, estes estão apresentados na forma de TWh para uma análise mais clara e acessível.

De forma a entender a relação entre ambas as unidades (m³ e TWh) é explicado como é efetuada a dita conversão (41) (42). Na expressão 1, está representada a fórmula detalhada para a conversão de m³ para kWh, cujas variáveis são:

- E - Energia do GN;
- Vm - Volume de GN;
- Fc - Fator de conversão.

$$E[\text{kWh}] = Vm[\text{m}^3] \times Fc \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{Expressão 1})$$

O cálculo do fator de conversão (Fc), expressão 2, é realizado através das variáveis:

- PCS - Poder Calorífico Superior do GN;
- Fcv - Fator de Correção de Volume.

$$Fc \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] = PCS \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 (n)} \right] \times F_{cv} \left[\frac{\text{m}^3(n)}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{Expressão 2})$$

Para se calcular a variável Fcv, expressão 3, é necessário ter em conta as variáveis abaixo mencionadas:

- F_{CT} - Fator de correção de temperatura;
- F_{CP} – Fator de correção de pressão.

$$F_{CV} \left[\frac{m^3(n)}{m^3} \right] = F_{CT} \times F_{CP} \quad (\text{Expressão 3})$$

O fator de correção de temperatura (F_{CT}) é calculado pela expressão 4.

$$F_{CT} = \frac{273,15}{273,15 + T_{gás}} \quad (\text{Expressão 4})$$

A variável $T_{gás}$ diz respeito à temperatura do GN no ponto de medida, em função da região onde se situa a instalação, de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23 – Variação da temperatura do GN de acordo com a rede de distribuição

Rede de distribuição	Temperatura do GN no ponto de medida ($T_{gás}$)	F_{CT}
Lisboagás	17°C	0,941419
Setgás	16°C	0,944665
Lusitaniagás	16°C	0,944665
Medigás	18°C	0,938176
Paxgás	15°C	0,947944
Dianagás	16°C	0,944665
Duriensegás	11°C	0,961288
Beiragás	13°C	0,954569

O fator de correção de pressão (F_{CP}) é calculado pela expressão 5.

$$F_{CP} = \frac{Pc + 1,01325}{1,01325} \quad (\text{Expressão 5})$$

A variável Pc da expressão 5 representa a pressão relativa de fornecimento em bar.

Após demonstradas as fórmulas para a conversão de m³ para kWh, verifica-se que 1m³ pode ter algumas diferenças em kWh, dependendo da temperatura do gás na região, do fornecedor e da pressão relativa. Para se calcular o consumo em kWh através das fórmulas acima mencionadas deve-se saber/admitir as variáveis Pc e Tgás.

Sem admitir valores de temperatura e pressão, pode-se calcular quanto equivale 1m³ de GN em kWh através de dados retirados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (43) e da ERSE (7), sendo estes dados coerentes e respeitando o ano em análise, 2018.

Para esta análise irá seguir-se a expressão 6, que converte m³ em kWh, de uma forma simplificada.

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{consumo (m}^3\text{)} \times F_{cv} \times PCS \quad (\text{Expressão 6})$$

Através da DGEG (43), sabe-se que em 2018 o PCS do GN foi de 42,8 MJ/m³, o que equivale a 11,9 kWh/m³ e que o consumo de GN foi de 5 864 848 938 m³. Sabendo também pela ERSE (7), que o consumo em 2018 foi de 67 TWh de consumo de GN, irá ser calculado o valor de F_{cv} através da expressão 7.

$$F_{cv} = \frac{\text{Consumo (kWh)}}{\text{Consumo (m}^3\text{)} \times PCS} \Leftrightarrow F_{cv} = \frac{67000000000}{5948738000 \times 11,9} \Leftrightarrow F_{cv} = 0,94646$$

(Expressão 7)

O valor calculado de F_{cv} encontra-se entre o intervalo de valores aceitáveis, 0,94 e 0,99, dependendo da companhia a fornecer o GN.

Após os cálculos efetuados sobre o consumo de GN em 2018, na expressão 8 está apresentado quanto equivale 1m³ de GN em kWh.

$$\text{Consumo (kWh)} = 1 \times 0,946462 \times 11,9 \Leftrightarrow \text{Consumo (kWh)} = 11,26 \text{ kWh}$$

(Expressão 8)

Página intencionalmente deixada em branco

Apêndice C

Caraterísticas do GNL

Como o GNL é produzido através da liquefação do GN, contém a maioria dos componentes do GN à exceção do dióxido de carbono, do n-Hexano e do sulfeto de hidrogénio, que são removidos no processo de purificação e liquefação do GN. Na Tabela 24, é possível visualizar os vários componentes que constituem o GNL (39) (40).

Tabela 24 – Composição do GNL

Componente	Fórmula	% molar	Peso Molecular (g/mol)	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de fusão (°C)
Metano	CH ₄	92,215	16,043	-161,6	-182,5
Etano	C ₂ H ₆	4,841	30,07	-88,6	-183,3
Propano	C ₃ H ₈	2,111	44,097	-42,0	-187,7
Azoto	N ₂	0,071	28,013	-195,5	-209,9
n-Butano	nC ₄ H ₁₀	0,381	58,124	-0,5	-138,4
i-Butano	iC ₄ H ₁₀	0,36	58,124	-11,8	-159,6
i-Pentano	iC ₅ H ₁₂	0,018	72,151	27,8	-160,0
n-Pentano	nC ₅ H ₁₂	0,003	72,151	36,06	-129,8

Após se verificar os elementos constituintes do GNL, são apresentadas as propriedades físico-químicas do GNL (39) (40):

- Peso molecular: 17,646 g/mol;
- Massa volúmica: 0,7897 kg/m³;
- Densidade relativa: 0,6107;
- Poder Calorífico Superior (P.C.S.): 12 kWh/m³;
- Poder Calorífico Inferior (P.C.I.): 10,85 kWh/m³;
- 1 m³ de GNL expande-se em média para: 600 m³ de GN.

Conforme se depreende da leitura destas propriedades, o GNL tem uma densidade superior à do ar, pelo que qualquer fuga deste gás a baixa temperatura não se dispersa de forma imediata e dissipa-se em forma de nuvem a baixa altitude, podendo ser muito perigoso caso entre em contacto com chamas ou fontes de calor (28).

As principais características e riscos da manipulação do GNL são (28):

- Invisível, inodoro (não é odorizado) e mais denso que o ar;
- Asfixiante;
- Nocivo se em contacto com os olhos e a pele;
- Arde (com chama praticamente invisível);
- Em contacto com a água, acelera a sua vaporização.

Sempre que se manipule deve utilizar-se (28):

- Ventilação suficiente;
- Luvas (adequadas a trabalhos com líquidos criogénicos);
- Viseira de proteção;
- Roupa adequada;
- Detetor de metano.

Apêndice D

Legislação para postos de abastecimento

De forma a se conseguir licença de construção e de exploração de um posto de enchimento de GN veicular (PEGNV) em Portugal, é necessário o projeto ser aprovado pela DGEG. O posto de enchimento tanto pode ser explorado para uso público, destinado ao público em geral, como também pode ser explorado para uso privativo (43).

A DGEG para analisar todo o projeto de um PEGNV rege-se por vários decretos-lei e portarias, a seguir descritos:

- Portaria n.º 366/2013, de 23 de dezembro - Estabelece o procedimento de atribuição de licenças para a exploração de postos de enchimento de GNV, em regime de serviço público ou privativo, nas modalidades de GNC e de GNL, determina a regulamentação de segurança aplicável ao projeto, construção, exploração e manutenção de postos de enchimento de GNL;
- Portaria n.º 1270/2001, de 8 de novembro - Aprova o Regulamento de Segurança Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção de Postos de Enchimento de GN;
- Portaria n.º 568/2000, de 7 de agosto - Aprova o Regulamento de Segurança das Instalações de Armazenagem de GNL em Reservatórios Criogénicos sob Pressão, designadas por Unidades Autónoma de GNL;
- Decreto-Lei n.º 267/2002, de 26 de novembro - Estabelece os procedimentos e define as competências para efeitos de licenciamento e fiscalização de instalações de armazenamento de produtos de petróleo e instalações de postos de abastecimento de combustíveis;
- Decreto-Lei n.º 217/2012, de 9 de outubro - Estabelece os procedimentos e define as competências para licenciamento e fiscalização de instalações de armazenamento de produtos de petróleo e de instalações de postos de abastecimento de combustíveis;
- Portaria n.º 1188/2003, de 10 de outubro - Regula os pedidos de licenciamento de combustíveis;

- Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto - Estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para a saúde humana e para o ambiente;
- Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto - Aprova o Regulamento de Instalação e de Funcionamento de Recipientes sob Pressão Simples e de Equipamentos sob Pressão.

O primeiro passo num projeto do PEGNV é fazer um pedido de atribuição de licença de exploração à DGEG de acordo com a informação mencionada nos artigos 5.º e 7.º da Portaria n.º 366/2013, de 23 de dezembro e deve respeitar integralmente o estabelecido na Portaria n.º 1270/2001, de 8 de novembro (43).

A Portaria n.º 568/2000, de 7 de agosto só deve ser utilizada no caso de o projeto do PEGNV utilizar um reservatório criogénico de GNL (43).

Após ser apresentado o pedido à DGEG, esta dá início a um processo, remetendo a informação a várias entidades, cujos interesses possam ser afetados pela construção do PEGNV, dispondo de vinte dias úteis para emitirem o seu parecer de acordo com o artigo 10.º do Decreto-Lei n.º 267/2002. Após a receção de todos os pareceres pela DGEG, esta procede à convocatória para vistoria inicial. No fim de realizada a vistoria, a DGEG comunica ao requerente a decisão relativamente ao projeto apresentado. Segundo o Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto, caso exista algum reservatório com capacidade superior a 50 toneladas de GNL, a realização da vistoria inicial e a subsequente decisão sobre o projeto ficam dependentes da conclusão do procedimento de avaliação de compatibilidade de localização. Este procedimento tem como objetivo o controlo da instalação para que sejam mantidas as distâncias entre os estabelecimentos e os elementos vulneráveis do território. Deste modo, a construção ou a alteração da instalação só se podem iniciar após a emissão de decisão da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), que verifique a compatibilidade da localização (43).

Já com a instalação do PEGNV finalizada, o requerente solicita a vistoria final à DGEG, que deve verificar se a instalação está de acordo com o projeto aprovado e reúne as condições para a concessão da licença de exploração. Para que o PEGNV fique com o licenciamento finalizado, é necessário o requerente obter junto do Instituto Português da Qualidade, I.P.

(IPQ) as autorizações de funcionamento de equipamentos, sob pressão de acordo com o Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto (43).

Página intencionalmente deixada em branco

Apêndice E

Caraterísticas do THT

O THT é um líquido volátil, incolor, com um forte odor desagradável. Por esta razão, em caso de uma simples “gota” de THT derramada no solo, pode fazer evacuar as imediações mais próximas, fazendo acreditar que se trata de uma fuga de GN de grandes dimensões (44).

As propriedades físico-químicas do THT são as seguintes (44):

- Fórmula: C_4H_8S ;
- Densidade: 999 kg/m³;
- Massa molar: 88,1 g/mol;
- Ponto de ebulição: 121 °C;
- Ponto de fusão: -96,2 °C;
- Solubilidade em água: nenhuma;
- Temperatura de autoignição: 200 °C.

Riscos e cuidados a ter

As principais características e riscos da manipulação do THT são (28):

- Altamente inflamável;
- Nocivo por inalação, ingestão e em contacto com a pele e olhos.

Sempre que se manipule com THT, deve trabalhar-se com (28):

- Ventilação suficiente ou equipamento de respiração adequado;
- Luvas (PVC ou neopreno);
- Óculos de segurança;
- Fato protetor.

Página intencionalmente deixada em branco

Apêndice F

Procedimento de abastecimento de um veículo a GNC

Antes de iniciar a operação de abastecimento, o usuário deve garantir que o veículo se encontra com o motor parado e sem ocupantes no seu interior.

Em seguida é indicado o procedimento de abastecimento de GNC (28):

- Desligar o veículo e as luzes;
- Acoplar o bocal ao veículo;
- Autorizar a unidade de enchimento no sistema de gestão de abastecimentos;
- O abastecimento inicia automaticamente;
- Após terminar o abastecimento desacoplar o bocal do veículo e colocá-lo na unidade de enchimento.

Observação: A unidade de enchimento está equipada com uma botoneira de emergência, que em caso de emergência deve ser premida, desencadeando a paragem do abastecimento em segurança.