



**Politécnico
Castelo Branco**

Escola Superior
de Tecnologia

Multi-Gas Piping Sizing Worksheet

Felisbelo Miguel Bumba Vumbi

Aluno nº 20220122

Orientador

Doutor Luís Paulo Coelho Neto

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor Luís Paulo Coelho Neto do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Setembro de 2025

Composição do júri

Presidente do júri

Doutor Pedro Miguel Baptista Torres

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Doutor José Nunes

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor Luís Paulo Coelho Neto

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Dedicatória

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo-me todo o apoio e motivação para nunca desistir dos meus objetivos. O vosso amor e confiança foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador Dr. Luís Paulo Coelho Neto pela motivação e incentivo, e a todos os professores deste curso que com dedicação e sabedoria compartilharam o seu conhecimento ao longo desta Jornada

A minha namorada aos meus amigos pela motivação conselho e encorajamento, e pelas companhias e motivação, pelas risadas e por me lembrarem sempre da importância de equilibrar os desafios com momentos de leveza.

E a todos que, de alguma forma, me ajudaram a moldar esta fase da minha vida, oferecendo-me incentivos, conselhos e inspiração para alcançar os meus sonhos.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus amados e queridos pais, Carlos Maria Vumbi, Lourdes Bumba, Ana Bumba, e Esperança Simba Meno pelo apoio incondicional, amor e confiança que sempre depositaram em mim.

Ao meu orientador, pela orientação sábia e pela dedicação na supervisão deste trabalho. A suas experiências e conhecimentos foram decisivos para a construção e melhoria contínua desta pesquisa, meu grande Dr. Luís Paulo Coelho Neto.

Agradeço, igualmente, aos meus professores, pela formação recebida ao longo da licenciatura, sem a qual este trabalho não teria sido possível.

Novamente a minha namorada, às minhas irmãs, e sem se esquecer aos meus amigos e colegas, pelo suporte emocional e pelas discussões enriquecedoras. Cada um de vocês, com suas contribuições, ajudou-me a crescer e a evoluir neste caminho.

Resumo

O presente trabalho de projeto, intitulado "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet", aborda a importância do dimensionamento de redes de gás combustível para garantir a segurança, eficiência energética e conformidade legal em edifícios residenciais, comerciais e industriais. O autor, Felisbelo Miguel Bumba Vumbi, sob a orientação do Doutor Luís Paulo Coelho Neto, desenvolveu uma folha de cálculo em Excel automatizada e polivalente para otimizar este processo.

O documento destaca que o dimensionamento manual de tubulações de gás é suscetível a erros e consome tempo considerável, comprometendo a precisão dos projetos. A ferramenta desenvolvida visa superar essas limitações, permitindo cálculos mais rápidos e precisos para sistemas de gás em baixa e média pressão, considerando diferentes tipos de gases combustíveis como Gás Natural, Gás de Cidade e Gás de Petróleo Liquefeito (GPL).

A folha de cálculo em Excel automatiza a inserção de dados do projeto, como tipo de gás, aparelhos a alimentar, materiais disponíveis e parâmetros operacionais. Ela realiza automaticamente os cálculos necessários, incluindo a determinação do percurso crítico, cálculo de perdas de carga, verificação da pressão inicial e final em cada troço, e a sugestão do diâmetro mais adequado para cada segmento da rede. Além disso, a ferramenta inclui funcionalidades de alerta para valores fora dos limites admissíveis e a geração automática de listas de materiais, facilitando a preparação da obra.

O trabalho ressalta que a ferramenta foi construída com base nos parâmetros típicos utilizados em Portugal, respeitando integralmente a legislação em vigor e permitindo adaptações conforme os diferentes concessionários. Este projeto representa uma integração valiosa dos conhecimentos adquiridos em Engenharia e Gestão Industrial, aplicando competências em Termodinâmica, Mecânica de Fluidos, Redes de Distribuição de Fluidos, normas técnicas e programação de ferramentas de apoio à decisão.

Em suma, o "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet" oferece uma solução prática, ágil e inovadora para o dimensionamento de redes de gás, acelerando o processo, diminuindo o risco de falhas humanas e contribuindo para o cumprimento das normas de segurança vigentes. A automação do cálculo proporciona maior precisão nas dimensões das tubagens e integra a inovação tecnológica num setor tradicional, facilitando o trabalho de engenheiros e técnicos.

Palavras chave

Gases Combustíveis, Dimensionamento de Redes de Gás, Média Pressão, Baixa Pressão, Cálculo Automático com Excel

Abstract

This project work, titled "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet", addresses the importance of sizing fuel gas networks to ensure safety, energy efficiency, and legal compliance in residential, commercial, and industrial buildings. The author, Felisbelo Miguel Bumba Vumbi, under the guidance of Dr. Luís Paulo Coelho Neto, developed an automated and versatile Excel spreadsheet to optimize this process.

The document highlights that manual gas pipeline sizing is prone to errors and consumes considerable time, compromising project accuracy. The developed tool aims to overcome these limitations, allowing faster and more precise calculations for low and medium-pressure gas systems, considering different types of fuel gases such as Natural Gas, City Gas, and Liquefied Petroleum Gas (LPG).

The Excel spreadsheet automates the input of project data, such as gas type, appliances to be supplied, available materials, and operational parameters. It automatically performs the necessary calculations, including determining the critical path, calculating pressure losses, verifying initial and final pressure in each section, and suggesting the most suitable diameter for each segment of the network. Additionally, the tool includes alert functionalities for values outside admissible limits and automatic generation of material lists, facilitating construction preparation.

The work emphasizes that the tool was built based on typical parameters used in Portugal, fully respecting current legislation and allowing adaptations according to different concessionaires. This project represents a valuable integration of knowledge acquired in Industrial Engineering and Management, applying skills in Thermodynamics, Fluid Mechanics, Fluid Distribution Networks, technical standards, and programming decision-support tools.

In summary, the "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet" offers a practical, agile, and innovative solution for gas network sizing, accelerating the process, reducing the risk of human error, and contributing to compliance with current safety standards. The automation of calculations provides greater precision in pipe dimensions and integrates technological innovation into a traditional sector, facilitating the work of engineers and technicians.

Keywords

Combustible gases, Sizing gas networks, Medium pressure, Low pressure, Automatic calculation with Excel

Índice geral

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução ao projeto	1
1.2. Contexto e motivação	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Objetivos Específicos	3
1.5. Estrutura do relatório	4
2. GASES COMBUSTÍVEIS	7
2.1. Utilização dos gases combustíveis ao longo do tempo	9
Gases Combustíveis em Portugal	10
2.2. Formação do Carvão, do Petróleo e do Gás Natural	12
Formação do Petróleo	12
Técnicas de Prospeção do Petróleo	14
Formação do Carvão	17
2.3. Formação de Gás Natural	19
2.4. Classificação dos gases combustíveis	21
Índice de Wobbe (W)	22
2.5. Famílias dos gases combustíveis	22
2.6. Propriedades termofísicas dos diferentes gases combustíveis	24
3. REDES DE GÁS EM EDIFÍCIOS	27
3.1. Legislação aplicável	27
3.2. Instalação de Redes de Gás em Edifícios	29
3.3. Componentes de uma instalação de gás	32
Instalação de Tubagem Polietileno	32
Tubagem de Polietileno	32
Tubagem de Cobre	34
Tubagem de Aço	35
Caixa de Corte de Gás ao edifício	36
Coluna Montante	36
Derivações de piso e de fogo	38
Contador e Redutor	38
Instalação dos equipamentos de queima	39

3.4. Dimensionamento em Média Pressão (MP).....	40
3.5. Dimensionamento em Baixa Pressão (BP)	48
4. MULTI-GAS PIPING SIZING WORKSHEET	53
4.1. Objetivos da calculadora	53
4.2. Organização da calculadora (Capa, Instruções)	53
5. CONCLUSÕES	69

Índice de figuras

Figura 1: Forma como é armazenado um gás combustível no estado gasoso.	7
Figura 2: Processo de transformação gradual da matéria orgânica em combustíveis fósseis.	13
Figura 3: Efeito do aumento da pressão e da temperatura ao longo do tempo....	15
Figura 4: Armadilhas Estruturais que permitem a acumulação de Petróleo e de Gás.	16
Figura 5: Tipos de armadilhas petrolíferas mais comuns.	17
Figura 6: Exemplo de fóssil.	18
Figura 7: Processo de fossilização.	19
Figura 8: Processo de formação de carvão.	19
Figura 9: Processo de formação do Gás Natural.	20
Figura 10: Imagem de capa da calculadora.	54
Figura 11: Imagem das instruções da calculadora.	54
Figura 12: Instruções para o dimensionamento em Média Pressão.	55
Figura 13: Écran de seleção do tipo de Gás.	56
Figura 14: Imagem onde se devera seleccionar a existência do aquecimento ambiente.	56
Figura 15: Imagem onde se devera seleccionar a marca e modelo dos equipamentos de equipamento de queima.	56
Figura 16: Imagem do Dimensionamento de troço em Média Pressão.	57
Figura 17: Imagem do resumo dos tubos de aço, e cobre.	58
Figura 18: Imagem as instruções para o dimensionamento em Baixa Pressão. ...	59
Figura 19: Imagem do Dimensionamento em Baixa Pressão.	59
Figura 20: Imagem do resumo dos tubos necessário para rede de Baixa Pressão.	60
Figura 21: Imagem do resumo dos tubos necessário para rede de Média e Baixa Pressão.	61
Figura 22: Desenho isométrico sem escala da rede em Média Pressão.	62
Figura 23: Imagem que ilutre a selção do tipo de gas.	63
Figura 24: Imagem ilustra sobre a existência do aquecimento ambiente.	63
Figura 25: Imagem ilustra a seleção dos equipamentos os seus maracas modelos e potências.	63
Figura 26: Imagem do preenchimento da folha de claculo da rede em Média Pressão.	64
Figura 27: Imagem da folha de cálculo em Média Pressão após o carregamento no ícone.	64
Figura 28: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Média pressão.	65
Figura 29: Desenho isométrico ilustrativo da rede em Baixa Pressão.	65

Figura 30: Imagem do preenchimento da folha de cálculo da rede em Baixa Pressão.....	66
Figura 31: Imagem da folha de claculo em BaixaFigura 31 Pressão após o carregamento no ícone.....	66
Figura 32: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Baixa Pressão	67
Figura 33: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Media e Baixa Pressão	67

Índice de Tabelas

Tabela 1: Propriedades termofísicas dos diferentes gases combustíveis.	25
Tabela 2: Dimensões normalizadas dos tubos de Polietileno.	34
Tabela 3: Dimensões normalizadas dos tubos de Cobre.	35
Tabela 4: Dimensões normalizadas dos tubos de Aço.....	35
Tabela 5: Designação e características técnicas do contadores de gás.	39
Tabela 6: Potências máximas permitidas por cada tipo de equipamento.....	40
Tabela 7: Exemplo de tabela de valores para o Fator de Simultaneidade S.	42
Tabela 8: Pressão de abastecimento	44
Tabela 9: Perdas de carga acumulada admissíveis	46
Tabela 10: Pressão de abastecimento em Baixa Pressão	49
Tabela 11: Perda de carga acumulada admissível.....	50

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

CCG	Caixa de Corte Geral
CLC	Companhia Logística de Combustíveis
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EI	Entidade Instaladora de Gás
EIG	Entidade Inspetora de Gás
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GDP	Gás de Portugal, S.A.
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
IG	Instalação de Gás
PE	Polietileno
RD	Redes de Distribuição
REN	Redes Energéticas Nacionais

Nomenclatura

d_c	Densidade corrigida	---
d_r	Densidade relativa	---
$D_{\text{cálculo}}$	Diâmetro de cálculo	mm
D_i	Diâmetro interior normalizado	mm
h	Desnível do troço	m
J	Perda de Carga Quadrática Média (Média Pressão)	mbar ² /m
J	Perda de Carga Linear Média (Baixa Pressão)	mbar/m
$L_{\text{crítico}}$	Comprimento do trajeto crítico	m
L_{eq}	Comprimento equivalente do troço	m
$L_{\text{eq.máx}}$	Comprimento equivalente do trajeto crítico	m
L_{real}	Comprimento real do troço	m
N	Número de fogos alimentados por um troço	---
P_A	Pressão de abastecimento	mbar
P_i	Pressão inicial do troço	mbar
P_f	Pressão final do troço	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida do troço	mbar
PCI	Poder Calorífico Inferior	kcal/m ³ (n)
PCS	Poder Calorífico Superior	kcal/m ³ (n)
$P_{\text{média}}$	Pressão média no troço	mbar
P_{nom}	Potência nominal de cada aparelho	kW
Q_{aparelho}	Caudal do aparelho a gás	m ³ (st)/h
Q_{fogo}	Caudal do fogo	m ³ (st)/h
$Q_{\text{troço}}$	Caudal de troço	---
S	Fator de Simultaneidade	---

v	Velocidade de escoamento no troço	m/s
W	Índice de Wobbe	MJ/m ³
W_i	Índice de Wobbe inferior	MJ/m ³
W_s	Índice de Wobbe superior	MJ/m ³
ΔP	Perda de carga no troço	mbar
$\Delta P_{\text{acumul.}}$	Perda de carga acumulada no troço	mbar

1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução ao projeto

O dimensionamento de uma rede de gás combustível é uma atividade essencial para garantir a segurança, a eficiência energética e a conformidade legal das instalações em edifícios residenciais, comerciais e industriais. Embora muitas vezes invisível aos olhos do utilizador final, a rede de distribuição de gás constitui uma infraestrutura crítica, cujo projeto envolve múltiplas variáveis técnicas e normativas que devem ser cuidadosamente analisadas. Cada decisão relacionada ao tipo de gás, aos aparelhos de queima, ao material das tubagens ou à extensão das condutas influencia diretamente o desempenho e a fiabilidade do sistema como um todo.

Em Portugal, o quadro legal que rege estas instalações é extenso e rigoroso, exigindo o cumprimento de normas técnicas específicas e limites apertados quanto à perda de carga, velocidade de escoamento e tipos de materiais admitidos. Para além disso, a crescente diversidade de fontes de energia e a procura por soluções mais eficientes e sustentáveis trazem novos desafios ao projetista, que necessita de ferramentas robustas e adaptáveis para apoiar a tomada de decisão.

Neste contexto, o presente trabalho surge com o objetivo de desenvolver uma folha de cálculo em Excel automatizada e polivalente ao dimensionamento de redes de gás. Esta ferramenta será concebida de forma a permitir não só a inserção intuitiva dos dados do projeto, tais como tipo de gás, aparelhos a alimentar, materiais disponíveis e parâmetros operacionais, mas também a geração automática dos cálculos necessários, incluindo a determinação do percurso crítico, o cálculo de perdas de carga, verificação da pressão inicial e final em cada troço, e a sugestão do diâmetro mais adequado para cada segmento da rede.

O projeto visa ainda implementar funcionalidades de alerta para valores fora dos limites admissíveis, bem como a geração automática de listas de materiais, facilitando a preparação da obra. A folha de cálculo proposta foi construída com base nos parâmetros típicos utilizados em Portugal, respeitando integralmente a legislação em vigor e permitindo adaptações conforme os diferentes concessionários.

De igual modo, este trabalho representa uma oportunidade valiosa de integração dos conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação em Engenharia e Gestão Industrial, colocando em prática competências nas áreas da Termodinâmica, da Mecânica de Fluidos e das Redes de Distribuição de Fluidos, normas técnicas, programação de ferramentas de apoio à decisão e interpretação de legislação técnica. A capacidade de automatizar cálculos complexos, de forma transparente e segura, constitui um avanço significativo para o setor, contribuindo para processos de projeto mais rápidos, precisos e menos sujeitos a erro humano

1.2. Contexto e motivação

O dimensionamento adequado de tubulações em sistemas de gás é uma tarefa essencial para garantir a segurança, eficiência e funcionalidade de redes de distribuição, tanto em aplicações residenciais como industriais. O processo de dimensionamento envolve cálculos rigorosos, que devem levar em consideração não apenas a pressão e o caudal dos gases, mas também suas propriedades termofísicas, como o poder calorífico e o índice de Wobbe, que variam conforme o tipo de gás utilizado. A realização desses cálculos de maneira manual pode ser suscetível a erros e consumir tempo considerável, comprometendo a precisão dos projetos.

O presente trabalho surge da necessidade de aprimorar esse processo, oferecendo uma solução automatizada que permita aos profissionais da área de engenharia realizar cálculos de dimensionamento de tubagens de gás de forma mais rápida e precisa. Utilizando a plataforma Microsoft Excel, será desenvolvida uma ferramenta de cálculo que possibilitará o dimensionamento de tubagens para sistemas de gás em baixa e média pressão, levando em conta os diferentes tipos de gases combustíveis – como o Gás Natural, Gás de Cidade e o Gás de Petróleo Liquefeito (GPL). A ferramenta não apenas otimiza o tempo dos engenheiros, mas também assegura que os cálculos estejam alinhados com as regulamentações e normas de segurança aplicáveis, aumentando a confiabilidade e a segurança das instalações.

Este trabalho surge, portanto, da necessidade de oferecer uma solução prática, ágil e inovadora para o dimensionamento de redes de gás. Utilizando o Excel como plataforma, a ferramenta desenvolvida permitirá realizar os cálculos de forma automatizada, acelerando o processo e diminuindo o risco de falhas humanas. Além disso, a automação do cálculo oferece uma maior precisão nas dimensões das tubagens e contribui para o cumprimento das normas de segurança vigentes. A motivação para este trabalho vai além da mera otimização de processos; visa integrar a inovação tecnológica em um setor tradicional, facilitando o trabalho dos engenheiros e técnicos, especialmente em um contexto onde os sistemas de gás estão se tornando cada vez mais complexos.

1.3. Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento e implementação de uma ferramenta de cálculo avançado, denominada Multi-Gas Piping Sizing Worksheet, para o dimensionamento e otimização das instalações de tubagens de gás em edifícios, capaz de integrar e calcular de forma precisa as variáveis necessárias para projetar redes de distribuição de gás para diferentes tipos de gases combustíveis, como Gás Natural, Gás de Cidade e Gás de Petróleo Liquefeito (GPL). A ferramenta proposta deverá ser capaz de realizar os cálculos de dimensionamento em conformidade com as normas técnicas e regulamentações vigentes, considerando tanto os aspectos teóricos quanto práticos da engenharia de

Itálico

instalações de gás. Além disso, a ferramenta deve possibilitar a escolha do material adequado para as tubagens, otimizar o consumo de energia, garantir a segurança das instalações e proporcionar uma interface de fácil utilização para engenheiros e técnicos da área.

A implementação do sistema será baseada em uma plataforma de fácil acesso e utilização, com a capacidade de processar dados em tempo real, fornecendo não apenas os cálculos técnicos, mas também um conjunto de recomendações para a construção das redes de gás, considerando o comportamento físico-químico dos gases em diferentes condições de temperatura, pressão e umidade. O sistema deverá também permitir a adaptação às diferentes condições de operação de sistemas de gás de média e baixa pressão, integrando diversos parâmetros de desempenho e segurança, como a perda de carga nas tubagens, a simulação de diferentes fluxos de gás, a análise da estabilidade da rede e o impacto das variações de temperatura e pressão nas propriedades dos materiais.

A ferramenta deverá proporcionar uma solução robusta e precisa, com capacidade de suportar a expansão para outros cenários e tipos de redes de distribuição, de modo a ser aplicável não apenas a instalações residenciais, mas também comerciais e industriais, abrangendo uma ampla gama de exigências e condições operacionais. Desta forma, o trabalho visa não só a criação de um recurso prático para engenheiros de projeto, mas também a contribuição para a melhoria da segurança, eficiência energética e sustentabilidade nas instalações de gás, alinhando-se com as melhores práticas e inovações tecnológicas do setor.

1.4. Objetivos Específicos

Identificar e analisar as principais normas e regulamentações em vigor em Portugal que influenciam o dimensionamento de sistemas de tubagens para multi-gás, com ênfase nas regulamentações relacionadas com segurança, eficiência energética e impacto ambiental. Este estudo abordará as leis de construção e as normas específicas para sistemas de distribuição de gás em diferentes pressões.

Investigar as propriedades dos gases utilizados em sistemas multi-gás no contexto português, como Gás Natural, Gás Propano, e outros, com foco em características como composição, pressão, temperatura, e capacidade de fluxo, com o objetivo de otimizar o dimensionamento da rede e garantir que as tubagens atendem a requisitos de segurança e eficiência.

Analisar os materiais mais adequados para a construção de tubagens multi-gás, considerando tanto a legislação portuguesa quanto as exigências de durabilidade e resistência dos materiais às condições ambientais do país. A análise incluirá uma comparação entre diferentes tipos de materiais (aço, cobre, polietileno), levando em conta o comportamento e a compatibilidade desses materiais nas instalações portuguesas.

Incorporar na folha de cálculo os parâmetros típicos utilizados em Portugal, como tipos de gás, materiais de tubagem, fatores de simultaneidade e equipamentos de queima, de forma a garantir que o dimensionamento seja ajustado às condições reais de operação em território nacional.

Implementar automatismos para o cálculo do percurso crítico, incluindo as perdas de carga, verificação de pressões e seleção dos diâmetros mais adequados para cada troço da rede de tubagens, garantindo que a ferramenta seja eficiente e precisa na simulação de diferentes cenários de operação.

Garantir que a ferramenta seja compatível com diferentes tipos de gás combustível, como o Gás Natural, Propano e GPL, assegurando a flexibilidade da aplicação para diferentes configurações de sistemas multi-gás.

Permitir que o projetista modifique manualmente os valores sugeridos pela ferramenta, quando necessário, para adaptar os resultados às particularidades do projeto, mantendo a personalização dos cálculos e a liberdade de ajustes.

Identificar os principais tipos de gases utilizados em sistemas multi-gás e as suas características físicas e químicas que influenciam o dimensionamento das tubagens, como o poder calorífico e os fatores de segurança.

Desenvolver propostas para melhorias nos processos de dimensionamento e instalação de sistemas de tubagens para multi-gás em Portugal, com base em inovações tecnológicas, melhores práticas e otimização dos processos já existentes, considerando os resultados obtidos durante a investigação.

1.5. Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se dividido em 5 capítulos, com o objetivo de apresentar de forma clara e sistemática todo o percurso técnico e metodológico seguido no desenvolvimento da ferramenta Multi-Gas Piping Sizing Worksheet.

Esta estrutura foi desenhada para proporcionar ao leitor uma compreensão progressiva, começando pelos fundamentos teóricos até à validação prática da ferramenta.

No Capítulo 1 é feita a introdução ao tema, evidenciando a importância do dimensionamento correto das instalações de gás, os objetivos do projeto e o contexto em que se insere a ferramenta desenvolvida. São ainda identificados os principais desafios que motivaram a construção de uma solução automatizada para apoio ao dimensionamento de redes de gás para diferentes combustíveis. A estrutura desta secção inclui:

- Uma introdução geral ao dimensionamento de redes de gás e à sua importância em termos de segurança, eficiência energética e conformidade legal;
- O contexto e motivação, realçando os desafios enfrentados no dimensionamento manual e a necessidade de uma solução automatizada e fiável;

- A definição dos objetivos gerais e específicos do projeto, incluindo a criação de uma ferramenta em Excel capaz de lidar com múltiplos tipos de gases combustíveis e cenários de instalação;
- Uma descrição da estrutura do relatório, orientando o leitor sobre a sequência lógica dos capítulos.

O capítulo 2 aborda os gases combustíveis, reunindo os fundamentos teóricos necessários à compreensão do seu comportamento em instalações. São apresentados conceitos como a formação do gás natural, a classificação dos gases por famílias, o índice de Wobbe e demais propriedades termofísicas relevantes, que têm impacto direto nos cálculos hidráulicos. Inclui:

- A história da utilização dos gases combustíveis, em Portugal e no mundo;
- A descrição dos processos de formação do carvão, petróleo e gás natural;
- A análise da composição físico-química dos gases (como metano, propano, butano);
- A classificação segundo o índice de Wobbe e as famílias de gases (1.^a, 2.^a e 3.^a);
- A apresentação das propriedades termofísicas, como poder calorífico, densidade relativa e corrigida e comportamento sob pressão.

Este capítulo é essencial para o dimensionamento técnico rigoroso, fornecendo os dados de entrada necessários à ferramenta desenvolvida.

No Capítulo 3 são exploradas as características técnicas das redes de gás em edifícios. Apresentam-se os principais componentes que integram uma instalação, os materiais utilizados, os tipos de pressões admissíveis e a legislação portuguesa aplicável. Este capítulo estabelece as bases regulamentares e práticas que fundamentam a estrutura da ferramenta desenvolvida. Inclui:

- Os componentes de uma instalação de gás: caixa de corte geral, coluna montante, contador, redutor, derivações e equipamentos de queima;
- Os materiais utilizados nas tubagens: polietileno, cobre e aço, com análise das suas vantagens, limitações e normas de aplicação;
- legislação aplicável em Portugal, com referência a requisitos normativos como a pressão de abastecimento, perdas de carga admissíveis, e condições de instalação;
- Os métodos de dimensionamento em média e baixa pressão, com exemplos de aplicação e critérios técnicos para a seleção de diâmetros, percursos e materiais.

Este capítulo assegura que o trabalho está em conformidade com os regulamentos técnicos nacionais e estabelece os critérios que a ferramenta incorpora nos seus cálculos.

O Capítulo 4 descreve em detalhe a ferramenta “Multi-Gas Piping Sizing Worksheet”, desde a sua conceção até à organização funcional da folha de cálculo em Excel. É explicada a metodologia de cálculo implementada, os dados de entrada exigidos, os outputs gerados e os critérios técnicos considerados. São ainda demonstrados exemplos práticos de aplicação da ferramenta a diferentes casos de estudo como:

- Os objetivos técnicos da ferramenta: automatizar os cálculos, garantir a conformidade com a legislação e melhorar a eficiência do processo de projecto;
- A organização da ferramenta em Excel, com explicação dos menus (gás, material, equipamento, troços), tabelas auxiliares, diagramas e fórmulas integradas;
- O modo de utilização, ilustrando como o utilizador pode inserir os dados do projeto (tipo de gás, caudais, comprimentos, elevações) e obter resultados como: perda de carga, pressão final, diâmetro recomendado e lista de materiais;
- A adaptação da ferramenta às normas portuguesas e a possibilidade de utilização em diferentes cenários (residencial, comercial ou industrial).

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho, avaliando o cumprimento dos objetivos definidos, as limitações observadas, e propondo futuras melhorias. Este capítulo serve de reflexão sobre a aplicabilidade prática da ferramenta e o seu contributo para a área da engenharia de instalações de gás.

2. GASES COMBUSTÍVEIS

Apenas 1% das substâncias conhecidas são gases, à temperatura de 25°C e à pressão de 1 atmosfera. Alguns gases existem na natureza, como o oxigênio e o nitrogênio, principais componentes do ar atmosférico; outros, como o cloro e o flúor, são obtidos pelo homem por meio de transformações químicas de outras substâncias. Apesar de serem minoria, as substâncias gasosas têm muitas aplicações.

O consumo crescente dos gases naturais combustíveis está esgotando as reservas mundiais desses materiais. Por esse motivo, vêm sendo planejados novos processos para a produção de gases combustíveis a partir do carvão. Também se investigam métodos para gaseificar lixos de cidades, resíduos de esgotos, restos de madeiras e quaisquer outros refugos de vegetais ou animais. Já se cultivam bactérias e algas com o fim específico de produzir gás combustível.

Na Figura 1 ilustra-se a forma como é armazenado um gás combustível no estado gasoso.



Figura 1: Forma como é armazenado um gás combustível no estado gasoso.

(Figura copiada de [1])

Gás Natural: A sua composição varia conforme o lugar onde se forma. É constituído principalmente por CH_4 , desprende-se da crosta terrestre nas regiões petrolíferas, sendo a maior fonte natural de metano. O Gás Natural é usado como combustível em residências, nos fogões, aquecedores de água e, em países de clima frio, nos sistemas de calefação. É utilizado também como combustível industrial no aquecimento de caldeiras onde água é transformada em vapor. Este, por sua vez, é utilizado para movimentar turbinas. O Gás Natural não é usado apenas como combustível. Diversos subprodutos do Gás Natural bruto, como o metano, o etano, o propano e o butano são usados como matéria-prima na obtenção de substâncias sintéticas. Os subprodutos do Gás Natural são separados uns dos outros por compressão, que os transformam em líquidos a temperaturas diferentes. Existem, misturadas ao Gás Natural bruto, substâncias indesejáveis

como a água (H₂O) e o sulfeto de hidrogênio (H₂S), que devem ser removidas antes de o Gás Natural ser injetado nas linhas de transmissão ou gasodutos [2].

O **Gás de Petróleo Liquefeito (GPL)** é uma mistura de hidrocarbonetos, sendo o propano e o butano os mais comuns. O propano é um gás específico, enquanto o GPL é uma categoria mais ampla que inclui o propano, mas também outros gases

À temperatura e pressão ambiente, encontra-se na forma gasosa, sendo liquefeito sob pressão para fins de armazenamento e transporte. Em Portugal é utilizado de forma abrangente como combustível automóvel (GPL Auto) [3].

A cadeia de valor do GPL compreende várias etapas: produção, refinação, armazenagem, transporte, distribuição e comercialização. Portugal, por não ser produtor de petróleo, depende da importação de crude ou derivados refinados, que são processados na refinaria de Sines, convertendo o petróleo em diversos produtos, incluindo GPL.

A comercialização do GPL ocorre sob três formas principais:

- **GPL engarrafado:** distribuído em garrafas de diversas capacidades (ex: 22L, 26L, 45kg), disponível em pontos de venda físicos, plataformas digitais e com entrega ao domicílio. O mercado é liberalizado e conta com cerca de 50 mil pontos de venda em Portugal.
- **GPL canalizado:** principalmente propano, distribuído por redes enterradas de polietileno ou aço, abastecendo consumidores através de contadores individualizados. É comum em áreas urbanas e industriais.
- **GPL Auto:** vendido em postos de abastecimento rodoviários, é uma alternativa mais limpa e económica para combustíveis convencionais.

O sistema de distribuição de GPL em Portugal está devidamente regulamentado, garantindo segurança, acessibilidade e diversidade de oferta, sendo fundamental para garantir o abastecimento energético em zonas onde não existe rede de gás natural.

O **gás urbano**, também conhecido como **Gás de Cidade**, foi amplamente utilizado como fonte de energia desde o século XIX, tendo inicialmente como principal aplicação a iluminação pública e doméstica. A sua produção surgiu como alternativa ao gás natural, cuja rede de distribuição não estava ainda disponível em muitas regiões. Ao contrário do gás natural, que é extraído de reservatórios subterrâneos, o gás de cidade é produzido artificialmente, sendo inicialmente obtido através da destilação do carvão em ausência de oxigénio. Este processo gerava diversos subprodutos gasosos, incluindo o próprio gás de cidade, mas apresentava sérios impactos ambientais devido à elevada poluição e resíduos gerados.

Com o avanço tecnológico, surgiram métodos mais sustentáveis, como a fermentação de resíduos orgânicos (ex. restos alimentares e estrume), que permitiram produzir gás de cidade com menor impacto ambiental.

Contudo, com a expansão das redes de gás natural, a utilização do gás de cidade tem vindo a diminuir drasticamente, sendo hoje quase obsoleta.

Em termos de composição, o gás de cidade é uma mistura variável de gases, entre os quais se destacam:

- **Hidrogénio (H₂)** – cerca de 50%; componente principal, altamente inflamável.
- Metano (CH₄) – cerca de 30%; também inflamável, utilizado em aplicações industriais e domésticas.
- **Monóxido de Carbono (CO)** – presente em pequenas quantidades; tóxico e perigoso para a saúde.
- **Dióxido de Carbono (CO₂)** – gás inerte resultante da combustão; contribui para o efeito de estufa.
- **Azoto (N₂)** – presente em quantidades residuais, sem impacto relevante.

A sua variabilidade depende do processo de produção e das matérias-primas utilizadas.

2.1. Utilização dos gases combustíveis ao longo do tempo

Desde tempos remotos, o ser humano procurou formas de produzir e controlar o fogo. Porém, só muito mais tarde surgiram os primeiros registos do uso de gás como combustível. Um dos episódios mais antigos remonta ao Japão, no ano de 615 a.C., onde se utilizou gás combustível de forma rudimentar. Séculos depois, por volta de 900 d.C. na China, os habitantes já exploravam Gás Natural do subsolo com recurso a canas de bambu, utilizando-o principalmente para iluminação pública. Estes eventos marcaram o início da longa história do aproveitamento energético de gases combustíveis.

Foi apenas a partir do século XVII, com o avanço do conhecimento científico na Europa Ocidental, que o uso de gases combustíveis começou a ganhar bases técnicas. Em cerca de 1650, cientistas em países como França, Inglaterra e Holanda descobriram que a carbonização da madeira e da hulha (carvão mineral) originava um gás inflamável. Este gás podia ser usado como fonte de energia e, simultaneamente, o resíduo sólido que restava da carbonização ainda podia ser aproveitado para queima.

Poucos anos mais tarde, em 1665, a Inglaterra avançou na produção prática de gás a partir do carvão. Este gás passou a ser utilizado para iluminação urbana e industrial, e em 1792, o gás de carvão foi oficialmente implementado para iluminação pública em Londres, estendendo-se posteriormente à cidade de Filadélfia, nos Estados Unidos.

Durante o século XIX, o uso de gás expandiu-se significativamente. A cidade de Lisboa, por exemplo, beneficiou da instalação de iluminação pública a gás, tornando as ruas mais seguras e modernas. Este período ficou marcado pelo

desenvolvimento de queimadores mais eficientes e acessíveis, o que levou ao aumento da procura tanto no setor doméstico como industrial. A invenção do bico de Bunsen em 1885 representou um marco fundamental na utilização controlada do Gás Natural, permitindo uma chama ajustável e segura, essencial para aplicações laboratoriais e científicas.

Contudo, a partir de 1890, a eletricidade começou a substituir o gás na iluminação pública e doméstica. Diante dessa mudança, as companhias de gás precisaram adaptar-se, procurando novas formas de aplicar o gás em áreas como aquecimento, indústria e transporte.

Já no início do século XX, as empresas de gás nos EUA e Europa organizaram-se melhor, alargando a produção e o consumo do Gás Natural. Nos Estados Unidos, particularmente, as propriedades térmicas do Gás Natural começaram a ser estudadas e valorizadas, impulsionando a procura por parte da indústria.

Apesar disso, o desenvolvimento da indústria dos gases combustíveis foi retardado por crises económicas, como a Grande Depressão de 1929, e por acontecimentos históricos como a Segunda Guerra Mundial, que desviaram recursos e atenções para outros setores estratégicos.

A história do gás está também profundamente interligada à do petróleo. Em 1859, nos Estados Unidos, o engenheiro Edwin Drake perfurou o primeiro poço de petróleo moderno, em Titusville (Pensilvânia), atingindo petróleo a uma profundidade de 226 metros. No entanto, inicialmente apenas o querosene (óleo para iluminação) era aproveitado, e o Gás Natural, considerado um subproduto sem valor, era rejeitado ou queimado.

Com o avanço da refinação do petróleo e o aperfeiçoamento das técnicas de separação e purificação, os subprodutos outrora ignorados passaram a ser altamente valorizados. Engenheiros, químicos e mecânicos desempenharam um papel decisivo ao encontrarem novas aplicações industriais e energéticas para esses resíduos, incluindo o uso de gases de petróleo na síntese química, produção de gasolina de aviação e geração de energia.

Durante a crise petrolífera da década de 1970, muitos países industrializados reavaliaram as suas políticas energéticas. A forte dependência do petróleo revelou-se um risco geopolítico e económico. Nessa altura, o Gás Natural emergiu como uma fonte de energia estratégica, mais limpa, abundante e com menor dependência de mercados instáveis. Esse movimento fortaleceu a infraestrutura de distribuição e incentivou a exploração de novas jazidas.

Referências ??

Gases Combustíveis em Portugal

Em Portugal a história dos gases teve o seu início no século XIX, com a iluminação pública a gás em Lisboa. O livro “Gás Natural – A História” [4] da Fundação Galp Energia detalha a sua evolução, desde a primeira lâmpada a gás acesa em Lisboa até à introdução do Gás Natural. De acordo com esta fonte:

- Em 1846 a conceção de iluminação pública de Lisboa é atribuída à CLIG e o sistema de gás iluminante é implementado na cidade.
- Em 1899 a rede gás canalizado da grande Lisboa é expandida para Cascais, Oeiras e Sintra.
- Em 1944 a fábrica de gás da Matinha, em Cabo Ruivo, Lisboa, é inaugurada com capacidade de produção diária de 75.000 m³ de gás hulha.
- Em 1954 iniciou-se a produção de Gás de Petróleo Liquefeito (GPL) na refinaria de Cabo Ruivo.
- Em 1989 é criada a GDP-Gás de Portugal, S.A., com a missão de fornecer gás ao país.
- Em 1993 a TRANSGÁS – Sociedade Portuguesa de Fornecimento de Gás Natural, S.A. (atual Galp Gás Natural, S.A.) é formada, e um contrato de concessão para importação, transporte, armazenamento e fornecimento de Gás Natural (GN) é assinado entre o Estado Português e a TRANSGÁS.
- Em 1994, o projeto de Gás Natural (GN) em Portugal avança com a construção do gasoduto de alta pressão entre Setúbal e Braga pela TRANSGÁS, e um contrato de venda de Gás Natural (GN) para a produção elétrica é assinada para central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro em Gondomar.
- Em 1997 a GDP – Gás de Portugal, assume a liderança estratégica do setor e impulsiona o projeto de Gás Natural.
- Em 1998 a Carris lança o primeiro autocarro movido de Gás Natural para Expo'98, em parceria com a Lisboagás.
- Em 1999 a operação de mudança de gás em Lisboa é iniciada e ocorre a fusão em grupos GDP – Gás de Portugal e a Petrogal, resultando na criação da Galp Energia. A TRANSGÁS adquire a primeira carga STOP de Gás Natural Liquefeito (GNL) da Sonatrach.
- Em 2000 iniciaram-se os trabalhos de preparação do terreno para o terminal de GNL de Sines.
- Em 2002 é iniciada a construção do gasoduto Setúbal – Sines e o complexo fabril da Matinha é definitivamente encerrado e os seus terrenos vendidos.
- Em 2004 o terminal de GNL Gás Natural Liquefeito de Sines e a Central de Ciclo Combinado do Carregado são oficialmente inauguradas.
- Em 2006 a Galp Energias aprova o processo de *unbundling*¹ para a transmissão de titularidade dos ativos regulados de Gás Natural para a REN. As cavernas

Referências !

¹ Unbundling (desagregação em português) é uma estratégia empresarial através da qual uma empresa vende ou separa linhas de negócio ou ofertas de produtos para melhorar o desempenho das suas operações principais.

salinas para armazenagem de Gás Natural no Carriço, Pombal, são inauguradas e a ERSE aprova a regulação do setor

- Em 2007 a Galp Energia obtém licença para comercializar Gás Natural em Espanha.
- Em 2012 as obras de ampliação do terminal GNL, Gás Natural Liquefeito de Sines são concluídas.
- Em 2013 uma nova descoberta de Gás Natural é anunciada na bacia de Ruvuma, em Moçambique, pela exploração da área.
- Em 2014 iniciou-se a construção de dois postos de abastecimento de Gás Natural Veicular (GNV) na Azambuja, para veículos pesados de mercadorias e frotas.

Como se viu anteriormente, em Portugal a introdução estruturada do Gás Natural surgiu apenas em meados da década de 1990.

Em 1995 o Estado Português criou a holding Gás de Portugal, com a missão de avaliar, planear e implementar a rede nacional de transporte e distribuição de Gás Natural. O plano previa uma rede de alta pressão, sistemas de armazenamento e estudos sobre o mercado consumidor. Estimava-se que até 2010, seriam investidos cerca de 400 milhões de contos no setor, com impacto direto na diversificação energética, na redução da dependência do petróleo e na modernização do consumo doméstico e industrial. As previsões apontavam para a circulação diária de 3,5 milhões de metros cúbicos de Gás Natural pela rede nacional, dos quais:

- 50% destinados à produção de eletricidade;
- 33% à indústria;
- o restante para uso doméstico e comercial.

Na altura a principal origem do Gás Natural consumido em Portugal era a jazida Hassi R'Mel, na Argélia, sendo transportado através do gasoduto Magreb–Europa, que entra no país por Campo Maior.

Portugal também assinou um contrato com a NLNG (Nigerian Liquefied Natural Gas) para o fornecimento de Gás Natural liquefeito (GNL), prevendo entregas anuais de 350 milhões de m³ até ao ano 2021. O GNL é transportado por navios metaneiros, passando por terminais em Huelva (Espanha) e, mais tarde, por terminais de regaseificação nacionais.

2.2. Formação do Carvão, do Petróleo e do Gás Natural

Formação do Petróleo

O petróleo, tal como o carvão e o gás natural, tem uma origem comum: resulta de um processo lento de transformação anaeróbia de sedimentos orgânicos, constituídos por restos de animais, vegetais e microrganismos. Estes sedimentos

foram-se acumulando ao longo de milhões de anos em ambientes adequados, como fundos marinhos e lacustres.

Durante esse longo processo, ocorreram fenômenos de natureza mecânica, química e bacteriológica, que, sob condições específicas de pressão e temperatura, permitiram a transformação gradual da matéria orgânica em combustíveis fósseis.

Na Figura 2 ilustra-se a transformação gradual da matéria orgânica em combustíveis fósseis.

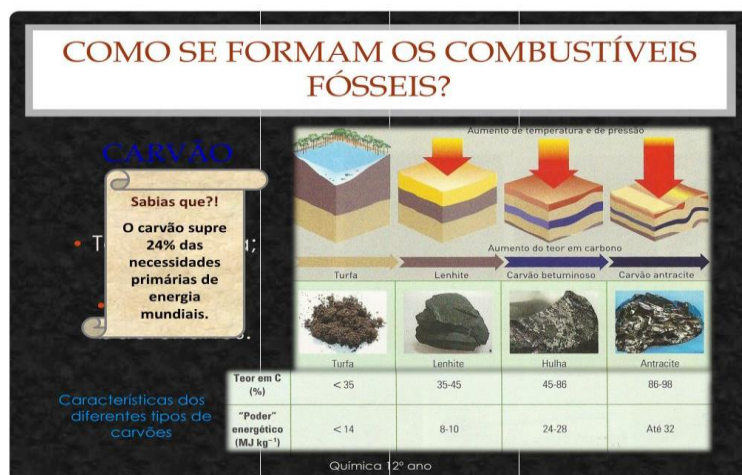


Figura 2: Processo de transformação gradual da matéria orgânica em combustíveis fósseis.

(Figura copiada de [5])

O petróleo é um líquido viscoso, menos denso que a água (por isto flutua em acidentes com navios petroleiros) e formado por uma mistura complexa de diversos compostos orgânicos e os hidrocarbonetos. Pode ser refinado a partir da técnica de destilação fracionada, originando vários tipos de combustíveis. A separação do componente do petróleo por esta técnica separa os derivados em misturas líquidas a partir o ponto de ebulição.

Enquanto o carvão permanece fixo no local de formação, o petróleo e o gás, por serem substâncias fluidas, têm mobilidade. Devido ao aumento da compactidade dos sedimentos, e por serem menos densos que a água salgada, os hidrocarbonetos líquidos e gasosos foram sendo expulsos das rochas-mãe.

Esses fluidos deslocaram-se pelos poros e fendas das rochas sedimentares, até encontrarem camadas de rocha impermeável, onde ficaram retidos. A partir desse momento, ocorre a separação entre o petróleo e o Gás Natural, podendo essa separação ser total ou parcial, conforme as condições.

As jazidas naturais de petróleo e gás podem ter diferentes origens geológicas e são classificadas em dois tipos principais:

Jazidas Estruturais: Formam-se a partir de distorções estruturais nas camadas de rocha, tais como:

- **Anticlinais:** estruturas geológicas em forma de arco. O petróleo e o gás migram até às zonas superiores da cúpula, onde ficam retidos pela rocha impermeável.
- **Falhas:** deslocamentos ou fraturas nas camadas rochosas. Pode acontecer que o petróleo e o gás fiquem entalados entre duas camadas impermeáveis, formando uma jazida.

Jazidas Estratigráficas: Neste caso, a formação da jazida resulta da evolução natural das camadas rochosas sedimentares:

- A camada porosa, por onde o petróleo e o gás circularam, sofre alterações morfológicas ao longo do tempo.
- Estas alterações podem ser, por exemplo, redução do tamanho do grão ou compactação, transformando-a numa camada impermeável, o que impede a continuidade do movimento dos hidrocarbonetos, criando assim a jazida

Técnicas de Prospeção do Petróleo

A prospeção de petróleo e gás baseia-se nos princípios geológicos explicados acima. O estudo sistemático do terreno, através de técnicas de geologia e geofísica, permite determinar os locais onde é mais provável a existência de jazidas.

Entre as técnicas mais avançadas, destaca-se a sismologia, considerada não apenas complementar, mas até substitutiva das perfurações exploratórias:

- Estuda-se a propagação das ondas sísmicas através da crosta terrestre, analisando a resposta das diferentes camadas de rocha;
- As ondas sísmicas, ao atravessar camadas distintas, refletem-se de forma diferente, permitindo ao geólogo identificar o tipo de rocha e a profundidade aproximada em que se encontra.

As fontes de vibração usadas na sismologia podem ser:

- Dinamite (explosões controladas);
- Camiões equipados com dispositivos de vibração;
- E os resultados são tratados por computador, permitindo gerar imagens tridimensionais da estrutura interna da crosta terrestre, indicando as possíveis jazidas.

O petróleo apresenta-se na forma de um líquido mais ou menos viscoso, cuja cor varia desde o amarelo-claro até ao negro, passando pelo vermelho e o castanho. É gerado em profundidade a partir da transformação da matéria orgânica presente nos sedimentos, por ação das temperaturas elevadas.

O fator mais importante para a geração do petróleo a partir das rochas sedimentares ricas em matéria orgânica sedimentar fóssil é a temperatura. Para que a geração de petróleo tenha início, é necessário que as rochas sedimentares,

ricas em matéria orgânica sedimentar fóssil atinjam uma temperatura de pelo menos 60 °C.

A profundidades baixas (< 1 km) a temperatura não é suficiente para a geração de petróleo (zona imatura). É, contudo, possível a geração de grandes volumes de gás (metano puro) devido a reação de bactérias anaeróbicas a matérias orgânica. Este gás é conhecido por gás dos pântanos e é gerado muito rapidamente. A geração deste gás biogénico está intimamente ligada à atividade bacteriana, a qual decresce com a profundidade. Por este motivo, a produção deste gás também diminui com a profundidade.

Numa bacia sedimentar normal, a geração do petróleo começa aos 60 °C, atinge o máximo aos 90 °C e termina aos 175 °C.

O fator tempo é também extremamente importante. O processo de geração do petróleo a partir da matéria orgânica é muito logo, na ordem de milhões de anos. A rocha-mãe mais nova que se conhece hoje data Plioceno². Quanto mais antigas forem as rochas, menor será a temperatura da geração do petróleo.

Na Figura 3 pode visualizar-se o efeito do aumento da pressão e da temperatura ao longo do tempo.

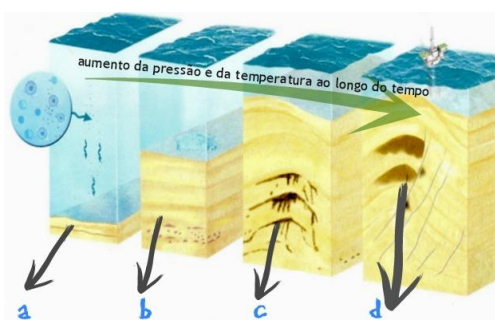


Figura 3: Efeito do aumento da pressão e da temperatura ao longo do tempo.

(Figura copiada de [5])

Cada camada ilustrada na Figura 3 tem o seguinte significado:

- a) A matéria orgânica de origem planctónica, algas, esporos, grãos de pólen acumula-se nos fundos oceânicos sem turbulência, a cerca de 2000 a 3000 metros de profundidade;
- b) A matéria orgânica juntamente com materiais argilosos, vai ficar subterrada, criando-se as condições anaeróbicas necessárias que levam ao processo de betuminização. A betuminização é um processo lento e envolve um aumento de temperatura na ordem dos 120 a 150 °C;

² Plioceno é a última época do antigo período Terciário e está compreendido entre há cerca de 5,33 e 2,58 milhões de anos.

- c) No processo de betuminização formam-se os hidrocarbonetos líquidos (petróleo bruto ou nafta), gasosos (Gás Natural) e sólidos (betumes ou asfaltos) que ficam retidos na Rocha-Mãe. Com a deposição de novos sedimentos, os fluidos gasosos e líquidos que são mais leves que os restantes sedimentos e mais leves que água salgada, por pressão, os hidrocarbonetos têm tendência a subir se tiverem espaço para o fazer ou se as rochas envolventes forem porosas. Na deposição os hidrocarbonetos dispõem-se por densidades (os mais densos são os betumes e ficam em baixo, depois o petróleo bruto e em cima o Gás Natural);
- d) Quando encontram uma rocha impermeável (Rocha Cobertura), o movimento dos hidrocarbonetos pára e impregnam as rochas subjacentes, ocupando todos os espaços vazios que, normalmente seriam ocupados pela água salgada (Rocha Armazém).

Na Figura 4 podem-se visualizar algumas das armadilhas estruturais que permitem a acumulação de Petróleo e de Gás.

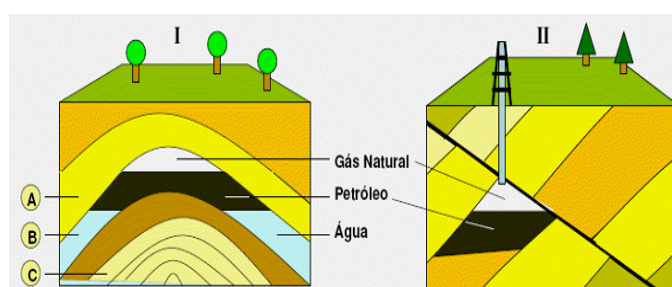


Figura 4: Armadilhas Estruturais que permitem a acumulação de Petróleo e de Gás.

(Figura copiada de [5])

Cada camada ilustrada na Figura 4 tem o seguinte significado:

- A: Rocha Cobertura: rocha argilosa que se localiza por cima da rocha armazém e que forma uma camada impermeável;
- B: Rocha Armazém: rocha permeável, porosa, onde se acumulam os hidrocarbonetos fluidos;
- C: Rocha Mãe: onde se formam os hidrocarbonetos num processo que leva milhões de anos.

Os hidrocarbonetos ao serem formados, ao ascenderem até serem armazenados, passam por uma série de armadilhas petrolíferas que dependem do tipo de rocha (permeáveis e impermeáveis) e das estruturas existentes (falhas, domas salinos, dobras...). As armadilhas petrolíferas são, geralmente, constituídas por uma rocha porosa coberta por uma rocha impermeável: a superfície que separa as duas rochas deve ter, no seu conjunto, uma forma convexa (há mais tipos) para a parte superior.

Sempre que uma armadilha fica preenchida por hidrocarbonetos passa-se a chamar um jazigo petrolífero ou jazida petrolífera.

Na Figura 5 podem-se visualizar alguns tipos de armadilhas petrolíferas mais comuns.

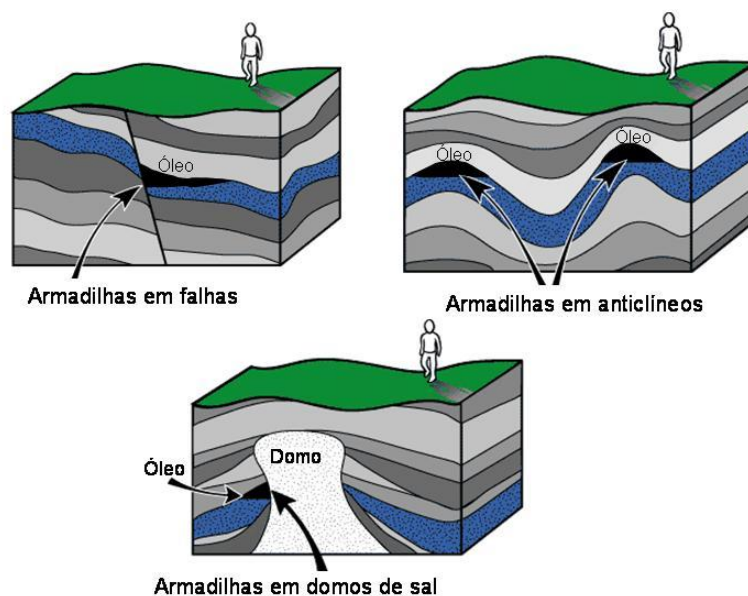


Figura 5: Tipos de armadilhas petrolíferas mais comuns.

(Figura copiada de [5])

Formação do Carvão

O carvão é o combustível fóssil mais abundante na Terra. Calcula-se que existam reservas para mais 200 anos de consumo humano. Geralmente é de cor negra e brilhante, ainda que essa característica possa variar.

O carvão mineral é oriundo da decomposição das florestas que ocorreram no período Carbonífero³, da era primária, sendo uma das formas em que o elemento carbono é encontrado no Globo Terrestre.

Na formação do carvão mineral ocorre um processo no qual há transformação da celulose, com a saída de iões de hidrogénio e oxigénio e um aumento no enriquecimento do carbono. Esse processo pode ser originado pela decomposição de florestas no próprio local, ou ainda, pela sedimentação de detritos vegetais trazidos pelas águas. Assim pode-se dizer que as jazidas de carvão representam restos de vegetais que foram transformados no local, ou transportados por longas distâncias, onde ocorreu a decomposição da celulose pela ação de bactérias, como por exemplo, o *Micrococcus carbo*, uma bactéria anaeróbica.

³ O Período Carbonífero, que ocorreu entre aproximadamente 359 e 299 milhões de anos atrás, é conhecido por ser um período de grande desenvolvimento de florestas e pântanos, com a subsequente formação de extensas jazidas de carvão mineral.

Na Figura 6 pode-se visualizar um exemplo ilustrativo de um processo de fossilização.



Figura 6: Exemplo de fósil.

(Figura copiada de [5])

De acordo com [5], o carvão mineral foi formado pelos restos soterrados de plantas tropicais e subtropicais, especialmente durante períodos Carbónico e Pérmico (há cerca de 300 milhões de anos) em zonas pantanosas.

A argila dos pântanos impede o apodrecimento da matéria orgânica (vegetal), subterrada. Ao longo do tempo, com a sedimentação de mais argilas, os materiais orgânicos ficam comprimidos com o peso dos sedimentos e sujeitos a uma maior pressão e temperatura e vai sofrendo transformações progressivas levando à génese do carvão.

O carvão mineral ou natural é um produto da fossilização da matéria orgânicas que é constituída essencialmente por oxigénio, azoto, carbono e hidrogénio, ao longo de milhões de anos. Vai empobrecendo em oxigénio, azoto e hidrogénio, aumentando, relativamente, a quantidade de carbono. Este processo é um tipo de fossilização que se designa incarbonização.

Quanto maior o teor de carbono, mais puro se considera e mais potencial energético tem.

Existem quatro tipos principais de carvão mineral (em ordem crescente do teor de carbono):

- Turfa;
- Lenhito;
- Hulha;
- Antracite.

Dependendo do tempo decorrido do processo de fossilização, pode ser:

- Tipo turfa, com aproximadamente 60% de carbono;
- Tipo lenhito, com aproximadamente 70% de Carbono;
- Tipo hulha, com aproximadamente 80 a 85% de Carbono;
- Tipo antracite, com aproximadamente 90% de carbono.

Na Figura 7 exemplifica-se o processo de fossilização e na Figura 8 ilustram-se as etapas do processo de formação do carvão.

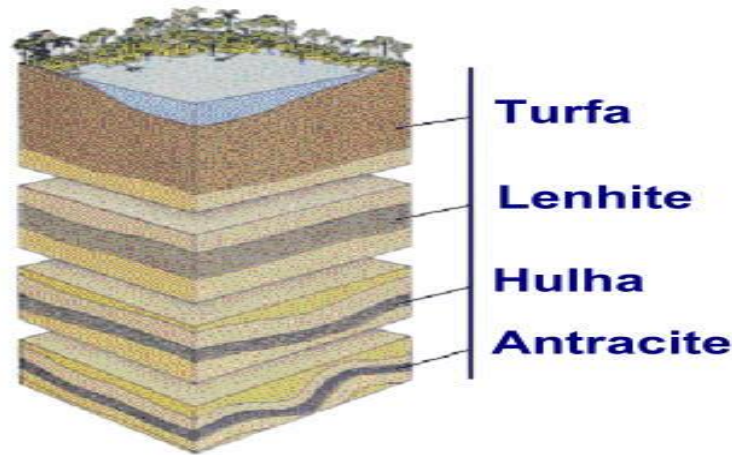


Figura 7: Processo de fossilização.

(Figura copiada de [5])



Figura 8: Processo de formação de carvão.

(Figura copiada de [5])

À medida que se dá um enriquecimento relativo de carbono, o carvão tem cada vez menos água e voláteis na sua composição. O mais puro dos carvões, a Antracite, é considerada rocha metamórfica.

2.3. Formação de Gás Natural

Existem diferentes teorias sobre a origem dos combustíveis fósseis. A teoria mais amplamente aceita sobre a origem do Gás Natural assume que os hidrocarbonetos presentes no Gás Natural provêm de matéria orgânica (restos de plantas terrestres e aquáticas, animais e microrganismos) que ficaram retidos em sedimentos, sendo posteriormente transformados ao longo de longos períodos até atingirem a sua forma atual [6].

Dois mecanismos principais são responsáveis pela degradação da matéria orgânica fóssil nos sedimentos [6]:

- Gás biogénico: formado a baixas profundidades e temperaturas, devido à ação de bactérias sobre os detritos orgânicos acumulados nos sedimentos;
- Gás termogénico: formado a maiores profundidades, através da degradação térmica da matéria orgânica designada por querogénio, especialmente em sedimentos argilosos ou xistos. Esta transformação ocorre devido à combinação de altas pressões e temperaturas;

O gás termogénico pode formar-se por dois processos distintos:

- Gás termogénico primário: resulta da decomposição direta da matéria orgânica sedimentar e geralmente coexiste com petróleo;
- Gás termogénico secundário: resulta da quebra térmica do petróleo anteriormente formado e coexiste com matéria sólida insolúvel, chamada pirobetume.

Na Figura 9 pode-se visualizar a imagem do processo de formação do Gás Natural.

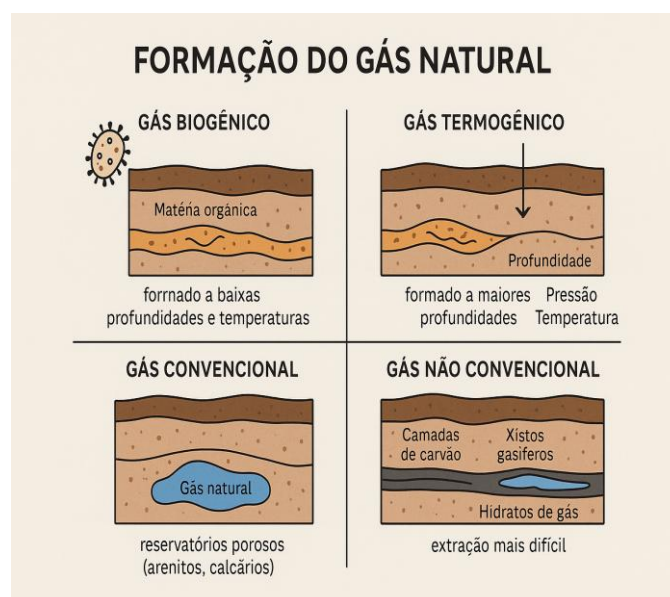


Figura 9: Processo de formação do Gás Natural.

(Figura copiada de [6])

Segundo [6] ambos os mecanismos envolvem craqueamento térmico sob pressão contínua, sobretudo devido ao peso da formação sedimentar subjacente. Embora não haja dados precisos sobre o tempo necessário para gerar gás termogénico, assume-se que se trata de um processo extremamente longo.

O Gás Natural pode ser extraído de formações geológicas convencionais (mais fáceis de explorar) ou não convencionais (mais difíceis de explorar):

O gás convencional é normalmente gás livre preso em zonas porosas relativamente pequenas, em formações rochosas naturais como arenitos, calcários e siltitos. Pode estar associado ao petróleo bruto (gás associado) ou ocorrer em reservatórios com pouco ou nenhum petróleo (gás não associado).

O gás não convencional inclui o gás presente em camadas de carvão (*coal-bed methane* - CBM), areias compactas (*tight gas sands*), xistos gasíferos (*shale gas*), aquíferos geopressionados e hidratos de gás. Estes reservatórios contêm grandes quantidades de Gás Natural, mas a sua extração é mais complexa, exigindo tecnologias avançadas para estimar com precisão o volume de gás e para estimular a sua produção.

Algumas razões para utilização do Gás Natural:

- Chama fácil e finamente regulável com temperatura constante;
- Fornecimento direto no local de consumo, sem transtorno para utilizador;
- Ausência de necessidades de armazenamento no local de consumo;
- Uso fácil;
- Pouco poluente.

Do ponto de vista químico o Gás Natural é constituído por uma mistura de gases, onde o metano (CH₄) predomina na ordem dos 90%.

Fisicamente é um gás com uma massa volúmica de 0,84 kg/m³ e uma densidade relativamente ao ar de 0,65. Esta característica confere-lhe boa segurança em caso de fuga por rápido escoamento ascensional.

O Poder Calorífico Superior, consoante as origens do gás, varia entre os 9000 kcal/m³ e os 12000 kcal/m³.

Por uma questão de segurança, o Gás Natural é obrigatoriamente odorizado quando entregue na rede de distribuição.

2.4. Classificação dos gases combustíveis

Os gases combustíveis apresentam diversas origens, sendo as mais frequentes:

- Gaseificação do carvão;
- Tratamento de misturas de hidrocarbonetos naturais;
- Efluentes da indústria petroquímica;
- Refinação do petróleo bruto.

Essa variedade de origens dá origem a uma grande variedade de composições químicas e, conseqüentemente, a características de combustão muito diferentes. Devido a essas diferenças, gases distintos muitas vezes não podem ser utilizados no mesmo aparelho de queima.

Índice de Wobbe (W)

A variedade dos gases combustíveis levou à necessidade de uma classificação internacionalmente aceite. Por decisão da União Internacional da Indústria de Gases, os gases combustíveis são divididos em três famílias principais, com base num parâmetro chamado **Índice de Wobbe (W)**, definido por:

$$W = \frac{PC}{\sqrt{d_r}} \quad (1)$$

em que:

W	Índice de Wobbe ⁴	kcal/m ³ (n)
PC	Poder calorífico do gás	kcal/m ³ (n)
$\sqrt{d_r}$	Densidade relativa do gás relativa ao ar	---

Nota: Embora no mundo do petróleo e do gás o Índice de Wobbe seja habitualmente expresso em kcal/m³, no Sistema Internacional de Unidades o mesmo é expresso em MJ/m³ sendo que 1 cal = 4,1868 J.

O poder calorífico de um gás combustível é definido como a quantidade de calor libertada durante a combustão do gás, à pressão constante de 101,325 kPa (1 atm), por unidade de volume (ou de massa), partindo dos constituintes da mistura combustível nas condições de referência (0°C e 1 atm) e trazendo os produtos de combustão às mesmas condições.

Conforme o estado físico da água resultante da combustão, distinguem-se dois tipos de poder calorífico:

- Poder Calorífico Superior (PCS): quando se admite que a água produzida no decorrer da reação de combustão fica no estado líquido;
- Poder Calorífico Inferior (PCI): quando se admite que a água resultante da reação de combustão é vaporizada.

2.5. Famílias dos gases combustíveis

A variedade de origens e composições químicas dos gases combustíveis implica diferenças significativas nas suas características de combustão, o que torna inviável a utilização de diferentes gases num mesmo equipamento. Para garantir a intermutabilidade segura e eficiente, a União Internacional da Indústria de Gases definiu uma classificação internacionalmente aceite, agrupando os gases combustíveis em três famílias principais.

A base desta classificação é o índice de Wobbe (W), um parâmetro que relaciona o poder calorífico de um gás com a sua densidade relativamente ao ar, permitindo

⁴ Atualmente o Índice de Wobbe é expresso em MJ/m³.

comparar a capacidade energética dos diferentes gases em condições normalizadas.

Consoante o tipo de poder calorífico utilizado no cálculo (superior ou inferior), o índice é designado como:

- W_s (Índice de Wobbe superior);
- W_i (Índice de Wobbe inferior).

Com base nesta abordagem técnica, a norma NP EN 437: Gases de Ensaio – Pressões de Ensaio – Categorias de Aparelhos define a seguinte distribuição:

- **1ª Família – Gases Manufaturados:** Esta família inclui os antigos gases de cidade, obtidos por gaseificação do carvão. São caracterizados por um índice de Wobbe superior situado entre $22,4 \text{ MJ/m}^3$ e $24,8 \text{ MJ/m}^3$. Devido ao seu baixo poder calorífico e composição variável, esta família está atualmente em desuso em muitas redes modernas, mas foi largamente utilizada até à introdução do Gás Natural. Um dos exemplos dos gases da 1ª família é o gás de cidade, fabricado dos hidrocarbonetos e efluentes de petroquímicas, cujas distribuição se encantava restringida na região de Lisboa.
- **2ª Família – Gases Naturais:** O Gás Natural, atualmente o combustível predominante nas redes de distribuição, constitui a 2ª família. Os gases deste grupo possuem um índice de Wobbe superior que varia entre $39,1 \text{ MJ/m}^3$ e $54,7 \text{ MJ/m}^3$, sendo subdivididos em três grupos distintos:
 - o **Grupo H:** Índice de Wobbe superior compreendido entre $47,5 \text{ MJ/m}^3$ e $54,7 \text{ MJ/m}^3$;
 - o **Grupo L:** Índice de Wobbe superior compreendido entre $39,1 \text{ MJ/m}^3$ e $44,8 \text{ MJ/m}^3$;
 - o **Grupo E:** Índice de Wobbe superior compreendido entre $40,9 \text{ MJ/m}^3$ e $54,7 \text{ MJ/m}^3$.

Esta classificação permite adaptar os aparelhos de combustão às características do gás disponível, garantindo segurança e desempenho eficiente.

- **3ª Família – Gases de Petróleo Liquefeito (GPL):** A 3ª família inclui os gases de petróleo liquefeitos, como o propano e o butano, amplamente utilizados em garrafas e sistemas autónomos. Estes gases destacam-se pelo seu elevado índice de Wobbe superior, situado entre $72,9 \text{ MJ/m}^3$ e $87,3 \text{ MJ/m}^3$, e pela facilidade de liquefação sob pressões moderadas. Tal como a família anterior, os GPL são também subdivididos em três grupos:
 - o **Grupo B/P:** Índice de Wobbe superior compreendido entre $72,9 \text{ MJ/m}^3$ e $87,3 \text{ MJ/m}^3$;
 - o **Grupo P:** Índice de Wobbe superior compreendido entre $72,9 \text{ MJ/m}^3$ e $76,8 \text{ MJ/m}^3$;

- o **Grupo B:** Índice de Wobbe superior compreendido entre 81,8 MJ/m³ e 87,3 MJ/m³.

Esta divisão detalhada permite uma adaptação precisa dos equipamentos, considerando o comportamento específico de cada mistura de gás liquefeito.

A classificação dos gases combustíveis em três famílias técnicas – manufaturados, natural e GPL – é fundamental para assegurar a segurança das instalações, a eficiência energética dos equipamentos e a compatibilidade entre redes de fornecimento e aparelhos de queima. O uso do Índice de Wobbe como critério unificador garante uma base científica sólida para decisões de projeto, instalação e regulação em sistemas de gás.

2.6. Propriedades termofísicas dos diferentes gases combustíveis

As propriedades termofísicas dos gases combustíveis são determinantes para o correto dimensionamento, segurança e eficiência dos sistemas de distribuição e utilização de energia. Estas propriedades influenciam diretamente o comportamento dos gases durante o armazenamento, transporte e combustão, afetando não só o desempenho energético, como também os requisitos técnicos dos materiais e equipamentos utilizados.

Entre as propriedades mais relevantes encontram-se:

- Densidade (absoluta e relativa);
- Poder calorífico (superior e inferior);
- Viscosidade dinâmica;
- Condutividade térmica;
- Capacidade calorífica a pressão constante;
- Temperatura de autoignição.

Estas características variam consoante o tipo de gás como o Gás Natural, Propano, Butano e o Gás de Petróleo Liquefeito (GPL) sendo por isso essencial analisá-las comparativamente.

A densidade relativa (d_r) de um gás é definida como a razão entre a massa específica do gás e a massa específica do ar seco, considerando-se ambos nas mesmas condições normais de temperatura e pressão, podendo ser calculada através da seguinte equação:

$$d_r = \frac{\rho_{\text{gás}}}{\rho_{\text{ar}}} \quad (2)$$

em que:

d_r Densidade relativa ---

$\rho_{\text{gás}}$	Massa específica do gás combustível	kg/m ³
ρ_{ar}	Massa específica do ar seco nas mesmas condições	kg/m ³

Este parâmetro indica o comportamento do gás em relação ao ar:

- Se $d_r < 1$, o gás é mais leve do que o ar (como é o caso do Gás Natural em que $d_r = 0,65$), pelo que tenderá a dispersar-se para cima;
- Se $d_r > 1$, o gás é mais pesado do que o ar (como é o caso do GPL-Propano em que $d_r = 1,55$), pelo que o gás tenderá a acumular-se junto ao solo.

A densidade corrigida (d_c) de um gás representa uma adaptação empírica da densidade relativa, incorporando os efeitos da pressão média, da viscosidade e da temperatura real do gás. Este valor é utilizado nas fórmulas de cálculo hidráulico, nomeadamente no dimensionamento do diâmetro de cálculo e na avaliação da perda de carga quadrática média.

Na Tabela 1 apresentam-se valores do Poder calorífico Inferior (**PCI**), da densidade relativa (**d_r**) e da densidade corrigida (**d_c**) de alguns gases combustíveis mais comuns.

Tabela 1: Propriedades termofísicas dos diferentes gases combustíveis.

(Tabela adaptada de [7])

Gás	PCI	d_r	d_c
Gás Natural	9 054 kcal/m ³ (n)	0,65	0,62
GPL - Propano	22 254 kcal/m ³ (n)	1,55	1,16
Gás Cidade	3 740 kcal/m ³ (n)	0,55	0,55

3. REDES DE GÁS EM EDIFÍCIOS

Antes de se explicar o que é e como se compõe uma rede de gás num edifício, apresenta-se primeiro um breve resumo do quadro legislativo aplicável.

3.1. Legislação aplicável

A legislação portuguesa que regula as redes de gás abrange diversos diplomas legais que estabelecem normas para a instalação, operação e manutenção dessas infraestruturas. Apresentam-se de seguida os principais documentos legislativos.

1 – Requisitos de acesso e exercícios de atividade das entidades e profissionais que atuam na área os gases combustíveis.

- **Lei n.º 15/2015:** Estabelece os requisitos de acesso e exercício da atividade das entidades e profissionais que atuam na área dos gases combustíveis, dos combustíveis e de outros produtos petrolíferos, conformando-o com a disciplina da Lei n.º 9/2009, de 4 de março, e do Decreto-Lei n.º 92/2010, de 26 de julho, que transpuseram as Diretivas n.ºs 2005/36/CE, de 7 de setembro, relativa ao reconhecimento das qualificações profissionais, e 2006/123/CE, de 12 de dezembro, relativa aos serviços no mercado interno, e procede à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 267/2002, de 26 de novembro;
- **Portaria n.º 192/2019:** Aprova os requisitos específicos de certificação das entidades formadoras para ministrarem formação adequada à obtenção da qualificação profissional de técnico de gás, instalador de instalações de gás e de redes e ramais de distribuição de gás, instalador de aparelhos a gás e soldador de aço por fusão na área do gás;

2 – Regime das Instalações de Gases Combustíveis em Edifícios

- **Decreto-Lei n.º 97/2017:** Estabelece o regime das instalações de gases combustíveis em edifícios. [Legislação Consolidada];
- **Declaração de Retificação n.º 28/2018:** Declaração de retificação à Lei n.º 59/2018, de 21 de agosto, «Primeira alteração, por apreciação parlamentar, ao Decreto-Lei n.º 97/2017, de 10 de agosto, que estabelece o regime das instalações de gases combustíveis em edifícios»;
- **Lei n.º 59/2018:** Primeira alteração, por apreciação parlamentar, ao Decreto-Lei n.º 97/2017, de 10 de agosto, que estabelece o regime das instalações de gases combustíveis em edifícios;
- **Declaração de Retificação n.º 34/2017:** Retifica o Decreto-Lei n.º 97/2017, de 10 de agosto, da Economia, que estabelece o regime das instalações de gases combustíveis em edifícios, publicado no Diário da República, n.º 154, 1.ª série, de 10 de agosto de 2017.

3 – Sistemas de Abastecimento de Gás

- **Portaria n.º 690/2001:** Altera as Portarias n.ºs 386/94, de 16 de junho (Regulamento Técnico Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção de Redes de Distribuição e Gases Combustíveis), 361/98, de 26 de junho (Regulamento Técnico Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção das Instalações de Gás Combustível Canalizado em Edifícios) e 362/2000, de 20 de junho (Procedimentos Relativos às Inspeções e à Manutenção das Redes e Ramais de Distribuição e Instalações de Gás);
- **Decreto-Lei n.º 7/2000:** Estabelece os princípios a que deve obedecer o projeto, a construção, a exploração e a manutenção do sistema de abastecimento de Gás Natural, alterando a redação do Decreto-Lei n.º 232/90, de 16 de julho;
- **Portaria n.º 361/98:** Aprova o Regulamento Técnico Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção das Instalações de Gás Combustível Canalizado em Edifícios. Revoga a Portaria n.º 364/94, de 11 de junho;
- **Portaria n.º 386/94:** Aprova o Regulamento Técnico Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção de Redes de Distribuição de Gases Combustíveis. Revoga a Portaria n.º 788/90 de 4 de setembro;
- **Decreto-Lei n.º 232/90:** Estabelece os princípios a que deve obedecer o projeto, a construção, a exploração e a manutenção do sistema de abastecimento dos gases combustíveis canalizados. Organização e ao Funcionamento do Sistema Nacional de Gás Natural;
- **Decreto-Lei n.º 62/2020:** Estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Gás e o respetivo regime jurídico e procede à transposição da Diretiva 2019/692. [Legislação Consolidada];
- **Decreto-Lei n.º 231/2012:** Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 140/2006, de 26 de julho, que desenvolve os princípios gerais relativos à organização e ao funcionamento do Sistema Nacional de Gás Natural, aprovados pelo Decreto-Lei n.º 30/2006, de 15 de fevereiro, regulamentando o regime jurídico aplicável ao exercício das atividades de transporte, armazenamento subterrâneo, receção, armazenamento e regaseificação de Gás Natural liquefeito, à distribuição e comercialização de Gás Natural e à organização dos mercados de Gás Natural;
- **Decreto-Lei n.º 66/2010:** Estabelece o procedimento aplicável à extinção das tarifas reguladas de venda de Gás Natural a clientes finais, com consumos anuais superiores a 10 000 m³, e procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 30/2006, de 15 de fevereiro, e à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 140/2006, de 26 de julho;
- **Decreto-Lei n.º 65/2008:** Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 140/2006, de 26 de novembro, no sentido de tornar aplicável às entidades

titulares das licenças de serviço público de distribuição local de Gás Natural exercidas em regime de exclusivo público os direitos previstos para as concessionárias das redes de transporte e de armazenamento de Gás Natural. Regulamento da Rede Nacional de Transporte de Gás Natural;

- **Portaria n.º 235/2012:** Altera a Portaria n.º 142/2011, de 6 de abril, que aprova o Regulamento da Rede Nacional de Transporte de Gás Natural;
- **Portaria n.º 142/2011:** Aprova o Regulamento da Rede Nacional de Transporte de Gás Natural e revoga a Portaria n.º 390/94, de 17 de junho. Regulamento de Armazenamento Subterrâneo de Gás Natural;
- **Portaria n.º 181/2012:** Aprova o Regulamento de Armazenamento Subterrâneo de Gás Natural e revoga a Portaria n.º 1025/98, de 12 de dezembro. Regulamento de Segurança - Gás Natural;
- **Portaria n.º 1270/2001:** Aprova o Regulamento de Segurança Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção de Postos de Enchimento de Gás Natural;
- **Portaria n.º 568/2000:** Aprova o Regulamento de Segurança das Instalações de Armazenagem de Gás Natural Liquefeito em Reservatórios Criogénicos sob Pressão, designadas por Unidades Autónoma de GNL. Infraestruturas das Concessões de Gás Natural;
- **Decreto-Lei n.º 23/2003:** Altera o Decreto-Lei n.º 11/94, de 13 de Janeiro, que define o regime aplicável às servidões necessárias à implantação das infraestruturas das concessões de Gás Natural;
- **Decreto-Lei n.º 152/94:** Define o regime jurídico das servidões necessárias à implantação de oleodutos-gasodutos para o transporte de gás petróleo liquefeito e produtos refinados;
- **Decreto-Lei n.º 11/94:** Define o regime aplicável às servidões necessárias à implantação das infraestruturas das concessões de Gás Natural.

3.2. Instalação de Redes de Gás em Edifícios

Uma Instalação de Gás (IG) é o sistema completo instalado num edifício, que engloba o conjunto de tubagens, dispositivos, acessórios e instrumentos de medição. A sua função primordial é assegurar o fornecimento de gás desde a válvula de corte geral do edifício até às válvulas de corte dos aparelhos a gás, incluindo qualquer extensão da tubagem que se encontre a jusante destas válvulas. Este sistema é crucial para a segurança e o funcionamento adequado do abastecimento de gás em qualquer tipo de edificação.

O regime das instalações de gases combustíveis em edifícios em Portugal é estabelecido principalmente pelo Decreto-Lei n.º 97/2017 de 10 de agosto. Este diploma define as regras para o projeto, execução, abastecimento e manutenção

das instalações de gás, bem como dos aparelhos a elas ligados, com o objetivo de garantir a segurança dos utilizadores e das infraestruturas.

É importante notar que o Decreto-Lei n.º 11/2023 de 10 de fevereiro, introduziu uma alteração significativa ao regime anterior. Anteriormente, era obrigatório dotar com instalações de gás os edifícios a construir ou sujeitos a obras com controlo prévio. No entanto, o Decreto-Lei n.º 11/2023 eliminou esta obrigatoriedade, simplificando os procedimentos administrativos. Apesar desta alteração, a execução de instalações de gás em edifícios continua a carecer de um projeto elaborado e atestado nos termos da legislação em vigor, garantindo que, caso se opte pela instalação de gás, esta seja feita de forma segura e regulamentada.

A segurança e conformidade das instalações de gás em edifícios dependem da atuação de diversas entidades, cada uma com responsabilidades específicas:

- **Entidades Instaladoras de Gás (EI):** São as únicas entidades legalmente habilitadas para executar, reparar, alterar ou realizar a manutenção de instalações de gás e aparelhos a gás. Após a conclusão dos trabalhos, a EI deve emitir uma declaração de conformidade de execução, documento essencial para as fases seguintes.
- **Entidades Inspetoras de Gás (EIG):** O abastecimento de gás a uma instalação só pode ser iniciado ou retomado após uma inspeção realizada por uma EIG, que deve emitir um relatório com resultados aprovativos. As EIG são também responsáveis pelas inspeções periódicas e extraordinárias, verificando a conformidade da instalação com o projeto, a estanquidade, as condições de ventilação e o funcionamento dos aparelhos.
- **Projetistas:** A execução de instalações de gás em edifícios exige um projeto técnico detalhado, elaborado por um projetista devidamente habilitado. A conformidade deste projeto com as normas regulamentares e técnicas aplicáveis deve ser atestada por uma EIG.
- **Proprietário/Usufrutuário:** É da responsabilidade do proprietário ou usufrutuário da instalação solicitar e suportar os encargos da manutenção e das inspeções periódicas. Em frações arrendadas, o contrato pode transferir esta responsabilidade para o arrendatário.
- **Condomínio:** Nas partes comuns de um condomínio ou propriedade horizontal, a responsabilidade pela manutenção e inspeção da instalação de gás é do condomínio.
- **Direção-Geral de Energia e Geologia (DGE):** A DGE é a entidade reguladora do setor, responsável por organizar, manter e gerir o registo das instalações de gás, assegurando a fiscalização e o cumprimento da legislação.

As inspeções são um pilar fundamental para a segurança das instalações de gás, dividindo-se em periódicas e extraordinárias.

Inspeções Periódicas

– Edifícios Habitacionais (Tipo I):

Instalações executadas até 21/08/2018: A primeira inspeção periódica deve ocorrer até 26/08/2028 ou quando a instalação perfizer 20 anos (o que ocorrer primeiro). As inspeções subsequentes têm uma periodicidade de 5 anos.

Instalações executadas após 21/08/2018: A primeira inspeção periódica deve ocorrer 10 anos após a execução. As inspeções subsequentes têm uma periodicidade de 5 anos.

– Edifícios Não Habitacionais (Tipos II a XII)

Incluem estacionamentos, administrativos, escolares, hospitalares, lares de idosos, espetáculos, hoteleiros, restauração, comerciais, desportivos, museus, bibliotecas, industriais, oficinas e armazéns. Para estes, a periodicidade das inspeções periódicas é de 3 anos.

Inspeções Extraordinárias

São obrigatórias em situações específicas que possam comprometer a segurança da instalação, tais como:

- Reconversão da instalação;
- Alterações no traçado, secção ou natureza da tubagem (nas partes comuns ou no interior dos fogos), ou substituição de componentes por outros de tipo diferente;
- Ocorrência de fuga de gás ou interrupção do fornecimento devido à existência de um defeito crítico (tipo G).

A mudança de comercializador de gás ou de titularidade do contrato de fornecimento não implica a realização de uma inspeção extraordinária, desde que não haja interrupção do fornecimento por motivos técnicos, não se verifiquem as situações acima descritas e exista uma declaração de inspeção válida que aprove a instalação.

A regulamentação das instalações de gás em edifícios em Portugal, liderada pela DGEG e suportada por legislação como o Decreto-Lei n.º 97/2017 (com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 11/2023), visa garantir a máxima segurança nas infraestruturas de gás. A intervenção de entidades qualificadas (EI e EIG), a obrigatoriedade de projetos e as inspeções periódicas e extraordinárias são medidas essenciais para prevenir acidentes e assegurar o bom funcionamento das instalações. A responsabilidade partilhada entre proprietários, condomínios e entidades reguladoras é fundamental para a manutenção de um ambiente seguro para todos os utilizadores de gás em edifícios.

3.3. Componentes de uma instalação de gás

A instalação de gás num edifício é um sistema complexo e hierarquizado, composto por vários elementos que garantem o transporte, a regulação e a medição do gás de forma segura e eficiente. A seguir, detalham-se os principais componentes a partir do ponto de entrada no edifício.

Instalação de Tubagem Polietileno

A correta instalação da tubagem de gás é crucial para a segurança e funcionalidade do sistema. Existem restrições específicas quanto aos locais onde as tubagens não podem atravessar, conforme estipulado na Portaria 361/98. É fundamental que a Entidade Instaladora de gás (EI) e o projetista estejam cientes destas limitações para garantir a conformidade e evitar riscos. Abaixo, detalhamos os locais proibidos para a passagem de tubagens de gás:

- Locais que contenham reservatórios de combustíveis;
- Conduas e locais de receção ou armazenagem de lixos domésticos;
- Conduas diversas nomeadamente de eletricidade, água, telefone e correio;
- Caixas de elevadores ou monta-cargas;
- Casas de máquinas de elevadores ou monta-cargas;
- Cabinas de transformadores ou de quadros elétricos;
- Espaços vazios das paredes duplas, salvo se no atravessamento a tubagem for protegida por uma manga cujos extremos excedam a espessura da parede, sendo o espaço anelar entre a tubagem e a manga convenientemente ventilado, de modo que eventuais fugas de gás sejam reduzidas até aos extremos da manga;
- Parques de estacionamento cobertos;
- Outros locais com perigo de incêndio.

Tubagem de Polietileno

O polietileno (PE) tem vindo a ganhar destaque nas instalações de gás, especialmente em redes de distribuição enterradas, devido à sua flexibilidade, resistência à corrosão e facilidade de instalação. Contudo, a sua aplicação requer atenção a condições específicas, nomeadamente no que diz respeito à temperatura e aos métodos de ligação.

Apresentamos de seguida os detalhes sobre a utilização de tubos de polietileno:

- **Aplicação:** Aplicação cada vez mais frequente devido à sua resistência e facilidade de colocação em obra. Utilizados para redes de distribuição de gás natural e GLP para residências, indústrias e edifícios;

- **Acondicionamento:** Antes da instalação, o acondicionamento dos tubos fornecidos em rolo ou em vara deve obedecer aos requisitos especificados na ET 301 (Portgás).

- **Restrições de utilização:**

A utilização de tubos de polietileno na construção de Redes de Distribuição (RD) está restringida a troços enterrados.

Na ligação das RD aos edifícios, os tubos de polietileno podem emergir do solo no exterior dos edifícios (art.º 24.º da Portaria 386/94, de 16 junho, com as correções da Portaria 690/2001, de 10 julho), devendo neste caso:

- ↳ Ser protegidos até uma profundidade mínima de 0,20 m por uma manga metálica cravada no solo que proteja o tubo;
- ↳ Ficar embebidos na parede exterior do edifício até 1,10 m, protegidos por uma manga de acompanhamento que resista ao ataque químico das argamassas.

- **Métodos de Ligação permitidos** (na construção de RD):

- ↳ Uniões eletrossoldáveis, em todos os diâmetros;
- ↳ Soldadura topo a topo, para diâmetros iguais ou superiores a 160 mm.

- **Métodos de Ligação não permitidos:**

- ↳ Não são permitidas ligações roscadas (art.º 20.º da Portaria 386/94, de 16 junho).

- **Sensibilidade à temperatura:**

- ↳ O PE é sensível às elevações de temperatura, amolecendo a temperaturas superiores a 40° C, o que diminui a sua resistência mecânica e a pressão máxima de serviço que as tubagens podem suportar, não sendo, portanto, permitida a sua exposição a estas temperaturas;
- ↳ A armazenagem dos tubos de PE deve ser feita de forma que os mesmos não fiquem expostos a fontes de calor, à ação direta do sol e raios ultravioleta;

Quando uma tubagem de gás de PE se encontrar na vizinhança de uma conduta de transporte de calor, terá de ser protegida com material isolante e encamisada, para garantir que a temperatura do PE nunca ultrapasse os 20 °C (art.º 25.º da Portaria 386/94, de 16 junho).

- **Dimensões e características** (conforme ET 301⁵ da PORTGÁS):
 - ↳ Os tubos deverão ser conformes aos requisitos da ET 301 e constarem da Lista de Materiais Qualificados pela Portgás.
- Diferenciação por diâmetro:
 - ↳ Para diâmetros inferiores a 110 mm: tubagens da série SDR 11 e Resina do tipo PE 100.
 - ↳ Para diâmetros iguais ou superiores a 110 mm: tubagens da série SDR 17 e Resina do tipo PE 100.

A Tabela 2 mostra as dimensões normalizadas dos tubos em Polietileno para uso em redes de gás.

Tabela 2: Dimensões normalizadas dos tubos de Polietileno.
(Tabela copiada de [8])

diâmetro exterior (mm)	espessura (mm)	diâmetro interior (mm)
20	3,0	14,0
32	3,0	26,0
40	3,7	32,6
63	5,8	51,4
110	6,6	96,8
160	9,5	141,0
200	11,9	176,2

Tubagem de Cobre

O cobre é um material amplamente utilizado em instalações de gás devido à sua durabilidade e maleabilidade. A sua aplicação é regulamentada por normas específicas para garantir a segurança e a integridade das redes de distribuição de gás. Abaixo, detalhamos os requisitos e as práticas recomendadas para a utilização de tubos de cobre:

- **Utilização:** Autorizada na construção de instalações de gás em edifícios, sendo comumente o material mais utilizado;
- **Normas:** Os tubos de cobre a utilizar nas Instalações de Gás devem obedecer à norma EN 1057;
- **Interligações:** As interligações das tubagens de cobre com latão ou bronze devem ser feitas por meio de brasagem forte (art.º 48.º da Portaria 361/98, de 26 junho).
- **Acessórios:** Todos os acessórios utilizados na construção de instalações de gás nos edifícios deverão satisfazer as normas técnicas aplicáveis.

⁵ Especificação Técnica.

A Tabela 3 mostra as dimensões normalizadas dos tubos em Cobre para uso em redes de gás.

Tabela 3: Dimensões normalizadas dos tubos de Cobre.

(Tabela copiada de [8])

	ø exterior (mm)	espessura mínima da parede (mm)
Rolos de 25 m	6	0,8
	8	
	10	
	12	1,0
	15	
	18	
	22	
Varas de 5 m	28	1,2
	35	1,5
	42	
	54	2,0

Tubagem de Aço

O aço é outro material fundamental nas instalações de gás, reconhecido pela sua robustez e resistência. A sua utilização é igualmente sujeita a rigorosas normas técnicas para assegurar a segurança e a conformidade das infraestruturas de gás. Seguem-se os principais aspetos relativos à aplicação de tubos de aço:

- **Utilização:** Autorizada na construção de instalações de gás em edifícios.
- **Normas:** Os tubos de aço devem obedecer aos requisitos da EN ISO 3183 ou de outra tecnicamente equivalente (art.º 7.º da Portaria 361/98, de 26 junho).
- **Acessórios:** Todos os acessórios utilizados na construção de instalações de gás nos edifícios deverão satisfazer as normas técnicas aplicáveis.

A Tabela 4 mostra as dimensões normalizadas dos tubos em Aço para uso em redes de gás.

Tabela 4: Dimensões normalizadas dos tubos de Aço.

(Tabela copiada de [8])

ø exterior		ø interior
(in)	(mm)	(mm)
1/8	10,3	6,8
1/4	13,7	9,2
3/8	17,1	12,5
1/2	21,3	15,8
3/4	26,7	21,0
1	33,4	26,6
1 1/4	42,2	35,1
1 1/2	48,3	40,9
2	60,3	52,5
2 1/2	73,0	62,7

Caixa de Corte de Gás ao edifício

A Caixa de Corte Geral (CCG), também designada por caixa de abrigo, é o ponto de transição entre a rede de distribuição pública e a instalação privativa do edifício. Conforme as especificações estabelecidas em [8], esta caixa deve ser instalada no exterior do edifício, em local de fácil e permanente acesso (acessibilidade de grau 1), para permitir uma intervenção rápida em caso de emergência. O seu interior alberga componentes essenciais tais como:

- Válvula de Corte Geral: Dispositivo que permite a interrupção total do fornecimento de gás ao edifício;
- Redutor de Edifício: Em instalações coletivas, este equipamento reduz a pressão da rede para um nível mais baixo e seguro, adequado para a distribuição dentro do edifício.

Coluna Montante

A coluna montante é a tubagem, geralmente de cobre ou aço, que sobe verticalmente pelas zonas comuns do edifício (nunca pelo interior das frações) para levar o gás aos diferentes pisos. A sua instalação pode ser realizada em galerias técnicas ventiladas, em canaletes dedicados ou de forma embebida na parede, sendo que qualquer junta mecânica deve ficar acessível através de uma caixa de visita.

A coluna montante é constituída por um conjunto de tubagens e acessórios, ligados ao ramal ou conduta de edifício, instalados nas partes de uso comum do mesmo, que permite o abastecimento de gás aos diferentes pisos do edifício, a sua instalação deve obedecer a regras estritas para garantir a segurança:

- Localização: Deve ser instalada em partes de uso comum do edifício, como galerias técnicas ou canaletes, sendo expressamente proibido que atravesse o interior das frações (apartamentos);
- Proteção: Quando instalada no exterior, deve ser protegida mecanicamente (geralmente por uma bainha de aço) até uma altura de 2,5 metros do solo para evitar danos por impacto. Se instalada no interior, deve estar em espaços ventilados e, preferencialmente, em locais exclusivamente dedicados à instalação de gás.

Edifícios com coluna montante interior

De acordo com o art.º 30.º da Portaria 361/98 de 26 de junho, as colunas montantes instaladas no interior dos edifícios coletivos não devem atravessar o interior de qualquer dos fogos

De acordo com o art.º 31.º da Portaria 361/98 de 26 junho as colunas montantes podem ser instaladas nos espaços interiores de uso comum dos edifícios de habitação coletiva nas seguintes condições:

- Em canaletes, exclusivamente reservados à tubagem de gás;
- Embebidas nas paredes, desde que construídas com tubos de aço ou de cobre, sendo os tubos de aço soldados eletricamente e os de cobre por brasagem capilar forte, com o mínimo de juntas possível.

De acordo com o art.º 31.º da Portaria 361/98 de 26 junho as juntas mecânicas e as brasagens das tubagens embebidas devem ficar contidas em caixas de visita com acessibilidade de grau 3.

Uma solução técnica que incrementa a segurança das instalações de gás consiste na colocação das colunas montantes e contadores em galeria técnica, exclusiva para gás.

As galerias técnicas devem:

- Ser livremente ventiladas;
- Ter proteção nas extremidades, superior e inferior, de forma a impedir a entrada de matérias estranhas capazes de danificar a tubagem mecanicamente ou por ação corrosiva;
- Ser de material resistente ao fogo.

No caso da utilização de galerias técnicas, o acesso aos contadores aí instalados deve estar protegido por uma porta corta-fogo que resista ao fogo durante, pelo menos, 1 hora.

Edifícios com coluna montante exterior

As colunas montantes exteriores podem ficar à vista, desde que protegidas em toda a sua extensão contra a corrosão e mecanicamente por bainha de aço pelo menos até 2,5 metros de altura do solo.

A coluna montante deve ficar afastada, no mínimo, 1 metro de qualquer abertura ou janela existente no edifício. Esta distância pode ser reduzida, no caso de a coluna montante ficar contida num canaleta ou bainha metálica com os seguintes requisitos:

- Ter uma secção superior a 100 cm² e ser exclusivamente reservado para a coluna montante;
- Ser ventilado e possuir uma rede corta-chamas a proteger a abertura inferior;
- A abertura superior do canaleta deve ser protegida contra a ação dos agentes atmosféricos e contra a obstrução, nomeadamente resultante de aves e insetos;
- As saídas do canaleta para as derivações de piso devem ser convenientemente vedadas.

Derivações de piso e de fogo

As derivações de piso devem ser implantadas ao longo das paredes (art.º 23.º da Portaria 361/98, de 26 junho). Compreendem toda a tubagem, desde a coluna montante até ao ponto de penetração em cada fogo, e incluem a válvula de derivação de piso, o redutor individual com segurança incorporada que fará a redução para 21 mbar e o contador.

As derivações são as tubagens que saem da coluna montante para levar o gás a cada fração, detalha a sua função e os dispositivos de segurança associados:

- Derivação do Piso: É a tubagem horizontal que serve um piso inteiro. No seu início, deve possuir uma válvula de corte própria, permitindo isolar todo o piso para manutenções;
- Derivação do Fogo: É a tubagem que liga a derivação de piso à instalação individual de cada consumidor. Inclui a válvula de derivação, o redutor individual e o contador. A segurança é reforçada pela obrigatoriedade de instalar uma válvula de corte imediatamente a montante de cada contador.

Os dispositivos de corte das derivações devem ficar instalados imediatamente a seguir à entrada da tubagem em cada fogo, em local de acessibilidade de grau 1, se não for viável a sua instalação no exterior.

Contador e Redutor

É o ponto de controlo e medição para cada consumidor individual. Deve ser instalado em local acessível, seco e ventilado, geralmente numa caixa de abrigo no exterior da fração.

Os contadores e os redutores de segurança devem ser instalados de modo a ficarem fixos ou apoiados, não suscetíveis de afetar a estanquidade do sistema ou o seu bom funcionamento (art.º 53.º da Portaria 361/98 de 26 junho). Deve também ser garantido que a instalação permite executar com qualidade as operações de montagem e de verificação/manutenção dos equipamentos, nomeadamente a montagem/desmontagem de contadores e redutores, assim como uma fácil identificação da marca, características do redutor, acessibilidade aos seus órgãos móveis e a perfeita leitura do mostrador do contador.

Os contadores de gás e os respetivos redutores de segurança devem ser instalados em caixa fechada, seca e ventilada, situada de preferência no exterior do fogo, em local permanentemente acessível (art.º 27.º da Portaria 361/98, de 26 junho com as alterações introduzidas pela Portaria 690/2001, de 10 julho). Conforme já indicado, no exterior da Caixa de Abrigo deve estar indicada a palavra “Gás” em caracteres indeléveis e a expressão “Proibido fumar ou foguear”, ou os símbolos correspondentes.

Na Tabela 5 apresentam-se os diversos calibres dos contadores, classificados de G2,5 a G10 conforme o caudal máximo que conseguem medir.

Tabela 5: Designação e características técnicas do contadores de gás.

(Tabela copiada de [8])

Designação	Caudal Q. máx. (m ³ /h)	Ligações		P. máxima de funcionamento (mbar)
		Diâmetro	Tipo	
2,5	4	G 1 1/4" DN25	Rosca Gás	100 ou 200
4	6	G 1 1/4" DN25	Macho	
6	10	G 1 1/4" DN25	Cilíndrica	
10	16	G 2" DN 40	ISO 228	

Instalação dos equipamentos de queima

A instalação dos aparelhos a gás (fogões, esquentadores, caldeiras) é a etapa final e uma das mais críticas para a segurança do utilizador, devendo ser assegurados os seguintes aspetos:

- A instalação dos equipamentos de queima só deve ser executada por uma entidade instaladora de gás (EI) habilitada para o efeito, pela Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG);
- Não é permitida a instalação de equipamentos de queima do tipo A⁶, desde que as potências instaladas excedam os valores apresentados na Tabela 6;
- É proibida a colocação de aparelhos do tipo A e do tipo B⁷ em locais destinados a quartos de dormir e casas de banho;
- Os aparelhos a gás não devem ser instalados em despensas e estacionamentos cobertos (garagens), por não serem locais adequados para a sua instalação;
- A instalação dos aparelhos a gás, nas diversas frações, tem de respeitar a regulamentação que rege as condições de ventilação, de evacuação dos produtos de combustão e de alimentação de ar comburentes. Neste contexto, para garantir o abastecimento dos apartamentos do tipo T₀, devem ser aplicados aparelhos estanques (tipo C⁸), sendo expressamente proibida a instalação de fogões ou de outros equipamentos não estanques.

Na Tabela 6 podem-se visualizar as potências máximas permitidas por cada tipo de equipamento.

⁶ Aparelhos do Tipo A: aparelho a gás concebido para funcionar não ligado a uma conduta de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde o aparelho está instalado.

⁷ Aparelho do Tipo B: aparelho a gás concebido para funcionar ligado a uma conduta de evacuação dos produtos de combustão para o exterior do local onde o aparelho está instalado.

⁸ Aparelho do Tipo C: aparelho a gás no qual o circuito de combustão é isolado do local onde o aparelho está instalado.

Tabela 6: Potências máximas permitidas por cada tipo de equipamento.

(Tabela copiada de [8])

aparelhos	potência nominal (kW)
fogões e mesas de encastrar	sem limitação
máquinas de lavar roupa	8 a 20
termoacumuladores	6 a 15
caloríferos independentes	10 a 22
frigoríficos	≤ 2,3
máquinas de secar roupa	6

3.4. Dimensionamento em Média Pressão (MP)

De acordo com [7], a tubagem que transporta o gás desde a Caixa de Corte Geral (CCG) ao edifício até cada uma das Caixas de Contadores (CC) existentes deverá ser dimensionada para um regime de Média Pressão (MP), cujos parâmetros e fórmulas são explicadas de seguida.

Potência Nominal (P_{nom}) de um aparelho a gás indica a potência térmica do aparelho e é expressa em (kW). Normalmente este valor é indicado pelo fabricante do aparelho, encontrando-se inscrito na placa de características do mesmo.

Caudal de Aparelho ($Q_{aparelho}$) é a conversão de energia para volume de gás, sendo calculado através da seguinte equação:

$$Q_{aparelho} = 860 \times \frac{P_{nom}}{PCI} \times \frac{T_{st}}{T_{sn}} \quad (3)$$

em que:

$Q_{aparelho}$	Caudal de aparelho	$m^3(st)/h$
P_{nom}	Potência nominal do aparelho	kW
PCI	Poder calorífico inferior	kcal/ $m^3(n)$
T_{st}	Temperatura absoluta standard	K
T_{sn}	Temperatura absoluta normal	K

Na equação anterior a constante 860 representa o fator de conversão de energia de kW para kcal/h e T_{st}/T_{sn} representa a correção da temperatura absoluta, ajustando a equação da condição *standard* para a condição *normal* de referência dos gases.

Atendendo aos valores estabelecidos:

- $T_{st} = 15^\circ C = 288,15 K$
- $T_{sn} = 0^\circ C = 273,15 K$

a equação anterior pode ser transformada na equação (4):

$$Q_{\text{aparelho}} = 860 \times \frac{P_{\text{nom}}}{\text{PCI}} \times 1,055 \quad (4)$$

Caudal de Fogo (Q_{fogo}) é a soma dos caudais dos aparelhos de um fogo expresso em $\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$, sendo calculado usando a equação seguinte:

$$Q_{\text{fogo}} = Q_1 + Q_2 + \frac{\sum Q_i}{2} \quad (5)$$

em que:

Q_{fogo}	Caudal de fogo	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
Q_1	Caudal do aparelho mais potente	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
Q_2	Caudal do segundo aparelho mais potente	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
$\sum Q_i$	Somatório dos caudais dos restantes aparelhos	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$

É de realçar que, de acordo com a legislação portuguesa, o valor da potência nominal de um fogo deve ser sempre igual ou superior a 30 kW correspondente a um caudal de fogo Q_{fogo} maior ou igual a $3,01 \text{ m}^3(\text{st})/\text{h}$.

Número de Fogos (N) alimentados por um troço representa a quantidade de equipamentos ou pontos de consumo de gás (como caldeiras, esquentadores, fogões, aquecedores, etc.) que estão ligados a um determinado troço da tubagem, e deve ser consultada no desenho da instalação.

Caudal do Troço ($Q_{\text{troço}}$) é o volume total de gás que um segmento (troço) da tubagem deve ser capaz de transportar por hora, considerando, quantos aparelhos estão ligados a esse troço, sendo calculado usando a equação seguinte:

$$Q_{\text{troço}} = N \times S \times Q_{\text{fogo}} \quad (6)$$

em que:

$Q_{\text{troço}}$	Caudal de troço	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
N	Número de fogos alimentados por um troço	---
S	Fator de simultaneidade	---
Q_{fogo}	Caudal do fogo	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$

Fator de Simultaneidade (S) é um coeficiente estatístico que representa a probabilidade de utilização simultânea de vários aparelhos de gás ligados a um mesmo troço da instalação. Na Tabela 7 apresenta-se um extrato de uma tabela contendo valores para o Fator de Simultaneidade (S) consoante o número de fogos (N) a abastecer e a existência ou não de aquecimento ambiente.

Tabela 7: Exemplo de tabela de valores para o Fator de Simultaneidade S.

Nº de fogos	S	
	Aquecimento ambiente	
N	SEM	COM
1	1,000	1,000
2	0,600	0,700
3	0,450	0,600
4 - 5	0,400	0,550
6	0,350	0,500
7	0,320	0,480
8	0,300	0,450
9	0,270	0,450
10 - 14	0,250	0,450
15	0,240	0,430
16	0,230	0,430
17	0,220	0,420
18	0,210	0,410
19 - 39	0,200	0,400
40	0,199	0,400

Comprimento Real do troço (L_{real}) é a distância linear entre dois pontos de um troço, devendo para tal ser consultado o desenho da instalação.

Desnível do Troço (h) é a diferença entre as cotas de início e fim do troço, devendo ser considerado positivo se o troço for ascendente e negativo se o troço for descende. No caso de troços horizontais considera-se que $h = 0$ m.

Comprimento Equivalente do troço (L_{eq}) é o comprimento imaginário que o troço de tubagem teria de ter para que a perda de carga contínua seja equivalente à soma das perdas de carga contínuas e localizadas existentes, evitando assim ter de se calcular cada perda de carga introduzida por cada acessório da instalação. Normalmente utiliza-se uma majoração de 20% em relação ao comprimento real do troço, pelo que:

$$L_{eq} = 1,2 \times L_{real} \quad (7)$$

em que:

L_{eq} Comprimento equivalente m

L_{real} Comprimento real m

Comprimento Crítico ($L_{crítico}$) representa o maior caminho percorrido pelo gás desde a CCG até à CC mais distante.

Nota: Em Baixa Pressão (BP), o comprimento crítico será medido desde a origem (geralmente o redutor ou contador de gás) até ao aparelho consumidor de gás mais distante.

Comprimento Equivalente Máximo ($L_{eq.máx}$) resulta da aplicação da majoração (normalmente de 20%) para compensação da existência de acessórios e inerentes perdas de carga localizadas.

$$L_{eq.m\acute{a}x} = 1.2 \times L_{cr\acute{i}tico} \quad (8)$$

em que:

$L_{eq.m\acute{a}x}$	Comprimento equivalente máximo	m
$L_{cr\acute{i}tico}$	Comprimento crítico	m

Perda de Carga Quadrática Média (J)  um parâmetro que expressa a resistência que o gás encontra ao escoar-se por um troço da tubagem, considerando fatores como o comprimento e a rugosidade interna da tubagem, os acessórios existentes (ts, curvas, válvulas, etc.), o diâmetro e o caudal, sendo calculado através da equao seguinte:

$$J = \frac{[(P_A + P_0)^2] - ((P_A + \Delta P_{adm})^2)}{L_{eq.m\acute{a}x}} \quad (9)$$

em que:

J	Perda de carga quadrática média	mbar ² /m
P_A	Pressão de abastecimento (varia consoante o tipo de gás)	mbar
P_0	Pressão atmosférica ($P_0 = 1013,25$ mbar)	mbar
ΔP_{adm}	Perda de carga admissível	mbar
$L_{eq.m\acute{a}x}$	Comprimento equivalente máximo	m

Diâmetro de Cculo ($D_{cáculo}$)  o valor teórico, expresso em milímetros, necessário para garantir que o escoamento do gás num troço da instalao seja seguro, eficiente e dentro dos limites de perda de carga admissível e velocidade máxima de escoamento, sendo calculado através da seguinte equao:

$$D_{cáculo} = \left(\frac{48.6 \times d_c \times Q_{troço}^{1,82}}{J \times 10^{-6}} \right)^{\frac{1}{4,82}} \quad (10)$$

em que:

$D_{cáculo}$	Diâmetro de cáculo	mm
d_c	Densidade corrigida do gás	---
$Q_{troço}$	Caudal de troço	m ³ (st)/h
J	Perda de carga quadrática média	mbar ² /m

Nesta equao o expoente 1,82 representa o expoente aplicável ao caudal, que reflete a relao não linear entre o caudal de gás e a perda de carga, e a frao 1/4,82 representa o expoente aplicado ao resultado da frao inteira para extrair o diâmetro de cáculo.

Nota: após se obter o diâmetro de cáculo através da aplicao da equao anterior, deve-se consultar uma tabela de diâmetros interiores normalizados do respetivo

material da tubagem (por exemplo, aço, cobre ou polietileno) e selecionar o tubo com diâmetro normalizado imediatamente superior.

Pressão de Abastecimento (P_A) corresponde à pressão disponível à entrada da instalação de gás, e é medida logo a seguir caixa corte de gás ao edifício. Esta pressão é fundamental para garantir que todo o sistema de distribuição funcione corretamente, assegurando o fornecimento adequado de gás a todos os aparelhos ligados à rede.

De acordo com [7], apresentam-se na Tabela 8 os valores típicos da pressão de abastecimento (P_A) em Média Pressão.

Tabela 8: Pressão de abastecimento
(Tabela adaptada de [7])

Gás	Pressão de Abastecimento (MP)
Gás Natural	100 mbar
GPL - Propano	1500 mbar
Gás Cidade	300 mbar

Estes valores servem como pressão inicial (P_i) de referência para os cálculos das perdas de carga em cada troço.

Pressão Inicial (P_i) de um troço de tubagem corresponde à pressão disponível no início desse troço específico da rede de gás. No contexto de uma instalação, a pressão inicial é usada como ponto de partida para o cálculo das perdas de carga e da pressão final (P_f) em cada segmento da tubagem.

Pressão Final (P_f) de um troço de tubagem é a pressão do gás à saída desse troço da tubagem, ou seja, depois de todas as perdas de carga dinâmicas (por atrito e geometrias) que ocorrem ao longo desse troço, sendo calculada usando a equação:

$$P_f = \sqrt{(P_i + P_0)^2 - 48,6 \cdot 10^{-6} \times d_c \times L_{eq} \times \frac{Q_{troço}^{1,82}}{D_i^{4,82}}} - P_0 \quad (11)$$

em que:

P_f	Pressão final	mbar
P_0	Pressão atmosférica padrão ($P_0 = 1013,25$ mbar)	mbar
P_i	Pressão inicial	mbar
d_c	Densidade corrigida	---
L_{eq}	Comprimento equivalente	m

$Q_{\text{troço}}$	Caudal de troço	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
D_i	Diâmetro interno	mm

Nesta equação o expoente 1,82 representa reflete a relação não linear entre o caudal de gás e a perda de carga e o expoente 4,82 é aplicado para extrair o diâmetro de cálculo.

Pressão final corrigida (P_{fc}) de um troço é o valor ajustado da pressão final, considerando não apenas as perdas por fricção (dinâmicas), mas também o efeito do desnível vertical (pressão estática) existente ao longo do troço. Este valor é essencial para garantir que, mesmo com subidas ou descidas na instalação, a pressão disponível no final do troço permanece suficiente para alimentar os aparelhos de gás com segurança e eficiência, sendo calculada através da seguinte equação:

$$P_{fc} = P_f + 0,1293 \times (1 - d_r) \times h \quad (12)$$

em que:

P_{fc}	Pressão final corrigida	mbar
P_f	Pressão final	mbar
d_r	Densidade relativa do gás	---
h	Desnível do troço	m

Nesta equação o valor 0,1293 representa o coeficiente empírico que traduz o efeito da diferença de altura e o valor 1 representa a densidade relativa do ar, que é a referência padrão nesta comparação.

No dimensionamento, é crucial garantir que a pressão final corrigida (P_{fc}) em qualquer ponto da rede seja suficiente para o correto funcionamento dos aparelhos.

Perda de carga (ΔP) no troço corresponde à redução da pressão do gás ao longo de um segmento da tubagem, causada principalmente pela resistência ao escoamento. Essa resistência resulta do atrito entre o gás e as paredes internas do tubo, bem como de perturbações no fluxo provocadas por acessórios como curvas, válvulas, junções, entre outros, sendo calculada através da equação:

$$\Delta P = P_i - P_{fc} \quad (13)$$

em que:

ΔP	Perda de carga no troço	mbar
P_i	Pressão inicial do troço	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida do troço	mbar

Perda de Carga Acumulada (ΔP_{acumul}) no troço representa a diferença entre a pressão de abastecimento (P_A) e a pressão final corrigida (P_{fc}) no ponto mais distante da instalação de gás, sendo calculada através da equação:

$$\Delta P_{\text{acumul}} = P_A - P_{fc} \quad (14)$$

em que:

ΔP_{acumul}	Perda de carga acumulada	mbar
P_A	Pressão de abastecimento	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida	mbar

De acordo com [7], apresentam-se na Tabela 9 os valores típicos das perdas de carga acumuladas no troço em Média Pressão.

Tabela 9: Perdas de carga acumulada admissíveis

(Tabela adaptada de [7])

Gás	$\Delta P_{\text{acumulado}}$	$\Delta P_{\text{acumulado}}$ admissível
Gás Natural ou Gás de Cidade	$\Delta P_{\text{acumul}} = 100 - P_{fc}$	≤ 15 mbar
GPL - Propano	$\Delta P_{\text{acumul}} = 1500 - P_{fc}$	≤ 15 mbar
Gás de Cidade (fornecido pela ex-PORTGÁS)	$\Delta P_{\text{acumul}} = 300 - P_{fc}$	≤ 15 mbar

A verificação da perda de carga acumulada permite garantir que a pressão no ponto mais crítico da rede (geralmente o mais distante ou o de maior consumo) é suficiente para alimentar o aparelho de gás de forma segura e eficiente.

Perda de carga admissível (ΔP_{adm}) é o valor máximo permitido de perda de pressão entre o ponto de entrada do gás na instalação e o ponto de consumo mais desfavorável (fim do trajeto crítico), sem comprometer o funcionamento seguro e eficiente dos aparelhos. Este limite tem como principal objetivo garantir o bom funcionamento e a segurança dos aparelhos de queima, mesmo nos troços mais longos ou com maior complexidade, sendo calculada através da equação:

$$\Delta P_{\text{acumul}} \leq 15 \text{ mbar} \quad (15)$$

Contudo, para Gás Natural fornecido pela EDP Gás (ex-concessionária PORTGÁS) o valor a considerar é:

$$\Delta P_{\text{acumul}} \leq 30 \text{ mbar} \quad (16)$$

Pressão Média (P_m) do gás num troço corresponde ao valor médio da pressão do gás ao longo de um segmento da tubagem, entre o início e o fim do troço. Este valor é essencial para o cálculo de grandezas como a velocidade de escoamento e para análises mais refinadas da instalação de gás.

A pressão média pode ser expressa de duas formas:

- Pressão média relativa (em relação à pressão atmosférica);
- Pressão média absoluta (considerando a pressão atmosférica);

sendo calculada usando as seguintes equações, consoante o caso:

$$P_m(\text{relativa}) = \frac{P_i + P_{fc}}{2} \quad (17)$$

$$P_m(\text{absoluta}) = \frac{(P_i + 1013,25) + (P_{fc} + 1013,25)}{2} \quad (18)$$

em que:

$P_m(\text{relativa})$	Pressão média relativa	mbar
$P_m(\text{absoluta})$	Pressão média absoluta	mbar
P_i	Pressão inicial	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida	mbar
P_0	Pressão atmosférica padrão	mbar
	$P_0 = 1013,25 \text{ mbar}$	

Velocidade do Escoamento (v) do gás no troço representa a rapidez com que o gás se desloca no interior de uma determinada secção da tubagem. É um parâmetro essencial para garantir o funcionamento eficiente e seguro da instalação de gás, especialmente em sistemas de baixa pressão, e é calculada usando a equação:

$$v = \frac{354000 \times Q_{\text{troço}}}{D_i^2 \times (P_{m(\text{abs})} + 1013,25)} \quad (19)$$

em que:

v	Velocidade de escoamento troço	m/s
$Q_{\text{troço}}$	Caudal do troço	m ³ (st)/h
D_i^2	Diâmetro interior	mm
P_0	Pressão atmosférica padrão ($P_0 = 1013,25 \text{ mbar}$)	mbar
$P_m(\text{abs})$	Pressão média absoluta	mbar

Nesta equação o valor de 354000 representa a constante empírica que resulta da simplificação da equação de Bernoulli.

Velocidade admissível (v_{adm}) do escoamento corresponde ao limite máximo recomendado para a velocidade do gás dentro das tubagens de uma instalação, de modo a garantir segurança, eficiência e durabilidade do sistema e é representada da seguinte forma:

$$v_{adm} \leq 15 \text{ m/s} \quad (20)$$

3.5. Dimensionamento em Baixa Pressão (BP)

De acordo com [9] o dimensionamento de uma rede de gás em Baixa Pressão (BP) é feito através de um conjunto de fórmulas, algumas das quais iguais às usadas no dimensionamento em Média Pressão (MP).

No que se segue apenas se apresentam os parâmetros e/ou fórmulas que são diferentes dos anteriormente apresentados para o dimensionamento em MP.

Caudal de Troço ($Q_{\text{troço}}$) difere consoante o troço em análise:

- Troço que abasteça um único aparelho: $Q_{\text{troço}} = Q_{\text{aparelho}}$
- Troço que abasteça dois aparelhos (A e B): $Q_{\text{troço}} = Q_{\text{aparelho A}} + Q_{\text{aparelho B}}$
- Troço que abasteça três ou mais aparelhos: $Q_{\text{troço}} = Q_{\text{fogo}}$

Perda de Carga Linear Média (J) corresponde à quantidade de pressão que se perde por metro de tubo, devido ao atrito entre o gás e as paredes internas da tubagem ao longo de um trajeto, sendo expressa em mbar/m e calculada pela equação:

$$J = \frac{1,5}{L_{\text{eq.máx}}} \quad (21)$$

em que:

J	Perda de Carga Linear Média	mbar/m
$L_{\text{eq.máx}}$	Comprimento equivalente máximo	m

Diâmetro de Cálculo ($D_{\text{cálculo}}$) é o valor teórico, expresso em milímetros (mm), necessário para garantir que o escoamento do gás num troço da instalação seja seguro, eficiente e dentro dos limites de perda de carga admissível e velocidade máxima de escoamento, sendo calculado pela equação (22):

$$D_{\text{cálculo}} = \left(\frac{23200 \times d_c \times Q_{\text{troço}}^{1.82}}{J} \right)^{\frac{1}{4.82}} \quad (22)$$

em que:

$D_{\text{cálculo}}$	Diâmetro de cálculo	mm
d_c	Densidade corrigida do gás	---
$Q_{\text{troço}}$	Caudal de troço	$\text{m}^3(\text{st})/\text{h}$
J	Perda de Carga Linear Média	mbar/m

O Diâmetro Interior Normalizado dos tubos de aço, cobre, e polietileno refere-se ao diâmetro interno padronizado de um tubo, segundo normas técnicas específicas (ex.: EN 10255, ISO 65), geralmente aplicáveis a tubos de aço carbono para condução de gás. Esse valor é utilizado no dimensionamento hidráulico das

tubagens, pois é o diâmetro efetivo por onde o gás escoar. Ele influencia diretamente:

- O caudal de gás que pode passar;
- A velocidade de escoamento;
- As perdas de carga ao longo do tempo.

Nas tabelas 3 e 4 anteriormente apresentadas podem ser consultados os diâmetros normalizados dos tubos de Aço e de Cobre.

Pressão de Abastecimento (P_A) corresponde à pressão disponível à entrada da instalação de gás, imediatamente a jusante do contador e/ou redutor de pressão. Esta pressão é fundamental para garantir que todo o sistema de distribuição funcione corretamente, assegurando o fornecimento adequado de gás a todos os aparelhos ligados à rede.

Na Tabela 10 podem observar-se valores típicos da pressão de abastecimento utilizados no dimensionamento em Baixa Pressão.

Tabela 10: Pressão de abastecimento em Baixa Pressão

(Tabela adaptada de [9])

Gás	Pressão de Abastecimento (BP)
Gás Natural	20 mbar
GPL - Propano	37 mbar
Gás Cidade	10 mbar

Pressão Inicial (P_i) de um troço corresponde à pressão disponível no início desse troço específico da rede de gás. No contexto de uma instalação de baixa pressão, P_i é usada como ponto de partida para o cálculo das perdas de carga e da pressão final (P_f) em cada segmento da tubagem. A pressão inicial de um troço depende diretamente da pressão final corrigida (P_{fc}) do troço imediatamente a montante (ou seja, aquele que vem antes no percurso do gás). Assim, a rede deve ser analisada de jusante para montante, partindo dos aparelhos consumidores em direção à origem da alimentação.

Pressão Final (P_f) de um troço representa a pressão disponível no final de um determinado segmento da tubagem, imediatamente antes do início do troço seguinte ou da ligação a um aparelho de queima de gás, e é calculada usando a equação:

$$P_f = P_i - 23200 \times d_c \times L_{eq} \times \frac{Q_{troço}^{1,82}}{D_i^{4,82}} \quad (23)$$

em que:

P_f	Pressão final	mbar
P_i	Pressão inicial	mbar
d_c	Densidade corrigida do gás	---
L_{eq}	Comprimento equivalente	m
$Q_{troço}$	Caudal de troço	$m^3(st)/h$
D_i	Diâmetro interno da tubagem	mm

Perda de Carga Acumulada (ΔP_{acumul}) no troço representa a diferença entre a pressão de abastecimento (P_A) e a pressão final corrigida (P_{fc}) no ponto mais distante da instalação de gás, sendo calculada através da equação:

$$\Delta P_{acumul} = P_A - P_{fc} \quad (24)$$

em que:

ΔP	Perda de carga acumulada	mbar
P_A	Pressão de abastecimento	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida	mbar

Na Tabela 11 apresenta-se, para cada tipo de gás, as fórmulas para se obterem as perdas de carga acumuladas ($\Delta P_{acumulado}$) e as perdas de carga acumuladas admissíveis ($\Delta P_{acumulado}$ admissível).

Tabela 11: Perda de carga acumulada admissível

(Tabela adaptada de [9])

Gás	$\Delta P_{acumulado}$	$\Delta P_{acumulado}$ admissível
Gás Natural	$\Delta P_{acumul} = 20 - P_{fc}$	$\leq 1,5$ mbar
GPL - Propano	$\Delta P_{acumul} = 37 - P_{fc}$	$\leq 1,5$ mbar
Gás de Cidade	$\Delta P_{acumul} = 10 - P_{fc}$	$\leq 1,5$ mbar

A pressão média no troço é uma grandeza auxiliar fundamental no dimensionamento de redes de gás em baixa pressão. Esta pressão representa o valor médio entre a pressão de entrada e a pressão de saída corrigida de um determinado troço de tubagem. É usada, sobretudo, para calcular a velocidade de escoamento do gás, garantindo que os limites de segurança e desempenho do sistema sejam respeitados.

Existem duas formas de expressar a pressão média no troço:

- Através da equação (25), fazendo a média simples entre a pressão inicial (P_i) e a pressão final corrigida (P_{fc}):

$$P_{m \text{ (relativa)}} = \frac{P_i + P_{fc}}{2} \quad (25)$$

- Através da equação (26), fazendo a mesma média simples mas em termos absolutos:

$$P_{m \text{ (absoluta)}} = \frac{(P_i + P_0) + (P_{fc} + P_0)}{2} \quad (26)$$

em que:

$P_{m \text{ (relativa)}}$	Pressão média relativa	mbar
$P_{m \text{ (absoluta)}}$	Pressão média absoluta	mbar
P_i	Pressão inicial	mbar
P_{fc}	Pressão final corrigida	mbar
P_0	Pressão atmosférica	mbar

Se a perda acumulada calculada for inferior ou igual a 1,5 mbar, a instalação cumpre os requisitos normativos. Se for superior, o projeto deve ser revisto, com eventuais medidas como: aumento do diâmetro das tubagens, redução do comprimento do trajeto, otimização do traçado (evitar curvas ou restrições) ou redistribuição das cargas.

Velocidade do Escoamento (v) no troço representa a rapidez com que o gás se desloca no interior de uma determinada secção da tubagem. É um parâmetro essencial para garantir o funcionamento eficiente e seguro da instalação de gás, especialmente em sistemas de baixa pressão, e é calculada usando a equação:

$$v = 354 \times \frac{Q_{\text{troço}} \times P_0}{D_i^2 \times P_{m \text{ (abs)}}} \quad (27)$$

em que:

v	Velocidade de escoamento troço	m/s
$Q_{\text{troço}}$	Caudal do troço	m ³ (st)/h
D_i	Diâmetro interior	mm
P_0	Pressão atmosférica padrão ($P_0 = 1013,25$ mbar)	mbar
$P_{m \text{ (abs)}}$	Pressão média absoluta	mbar

Velocidade de escoamento admissível (V_{adm}) corresponde ao limite máximo recomendado para a velocidade do gás dentro das tubagens de uma instalação, de modo a garantir segurança, eficiência e durabilidade do sistema, tendo como limite em Baixa Pressão:

$$V_{adm} \leq 10 \quad (28)$$

4. MULTI-GAS PIPING SIZING WORKSHEET

4.1. Objetivos da calculadora

A ferramenta "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet" foi desenvolvida com o objetivo primordial de otimizar e automatizar o processo de dimensionamento de redes de gás combustível em diversos tipos de edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. A sua criação surge da necessidade de superar as limitações inerentes ao dimensionamento manual, que se revela propenso a erros e consome um tempo considerável, comprometendo a precisão e a eficiência dos projetos.

Os principais objetivos da calculadora incluem:

- **Acelerar o processo de dimensionamento:** Reduzir significativamente o tempo necessário para realizar os cálculos complexos envolvidos no dimensionamento de redes de gás, permitindo que engenheiros e técnicos se concentrem em outras fases do projeto;
- **Aumentar a precisão dos cálculos:** Minimizar a ocorrência de erros humanos através da automação dos processos de cálculo, garantindo que os diâmetros das tubagens e as perdas de carga sejam determinados com exatidão;
- **Garantir a segurança e conformidade legal:** Assegurar que o dimensionamento das redes de gás esteja em total conformidade com a legislação em vigor e as normas técnicas aplicáveis em Portugal, contribuindo para a segurança das instalações e dos utilizadores;
- **Versatilidade e adaptabilidade:** Permitir o dimensionamento para diferentes tipos de gases combustíveis (Gás Natural, Gás de Cidade e Gás de Petróleo Liquefeito - GPL) e para sistemas de média e baixa pressão, adaptando-se às especificidades de cada projeto e concessionário;
- **Facilitar a preparação da obra:** Gerar automaticamente listas de materiais e fornecer funcionalidades de alerta para valores fora dos limites admissíveis, simplificando a fase de planeamento e execução da instalação;
- **Integração de conhecimentos:** Aplicar e integrar conhecimentos de diversas áreas da Engenharia e Gestão Industrial, como Termodinâmica, Mecânica de Fluidos, Redes de Distribuição de Fluidos e programação de ferramentas de apoio à decisão, num único instrumento prático.

Em suma, a calculadora visa proporcionar uma solução prática, ágil e inovadora que não só acelera o processo de dimensionamento, mas também eleva a precisão e a segurança das instalações de gás, representando um avanço tecnológico significativo para o setor.

4.2. Organização da calculadora (Capa, Instruções)

A "Multi-Gas Piping Sizing Worksheet" surge como uma solução inovadora para superar os desafios inerentes ao dimensionamento tradicional. Ao longo das

próximas secções, serão explorados os objetivos específicos que guiaram o seu desenvolvimento, nomeadamente a capacidade de realizar cálculos rápidos e precisos para sistemas de gás em média e baixa pressão, considerando uma variedade de gases combustíveis como Gás Natural, Gás de Cidade e Gás de Petróleo Liquefeito (GPL). Será igualmente abordada a sua organização interna, desde a interface inicial (Capa e Instruções) até às funcionalidades mais complexas, como a determinação do percurso crítico, o cálculo de perdas de carga, a verificação de pressões e a sugestão de diâmetros ideais para cada segmento da rede.

Capa: A capa serve como a página de entrada da calculadora. Contém informações essenciais sobre o projeto, como o título, o nome do autor e a data da sua apresentação perante o júri, tal como se ilustra na Figura 10.

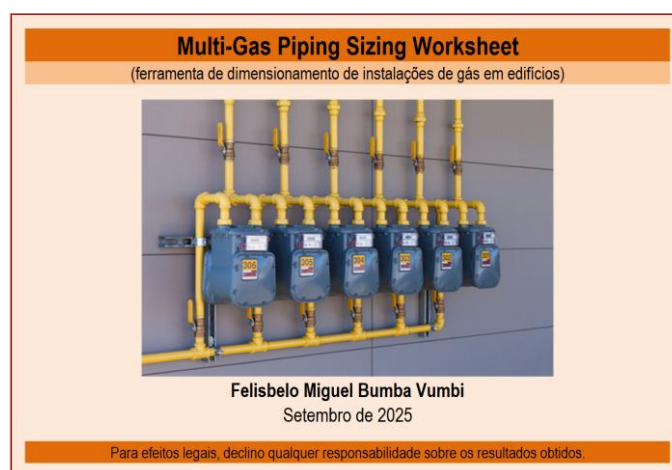


Figura 10: Imagem de capa da calculadora

Instruções: A folha de instruções, ilustrada na Figura 11, é crucial para a correta utilização da calculadora. Nela, são detalhadas as etapas necessárias para o dimensionamento, desde a introdução dos dados iniciais até à interpretação dos resultados. As instruções são apresentadas de uma forma clara e concisa, simples de entender pelo utilizador.



Figura 11: Imagem das instruções da calculadora.

- **Seta para a direita (AVANÇAR):** Indica a funcionalidade de navegação para a "página seguinte". Este símbolo é fundamental para progredir através das

diferentes secções ou etapas da folha de cálculo, permitindo ao utilizador avançar no processo de dimensionamento.

- **Seta para a esquerda (RETROCEDER):** Representa a capacidade de regressar à "página anterior". Esta função é vital para a correção de erros, revisão de dados introduzidos ou simplesmente para consultar informações em etapas prévias do processo.
- **Borracha (RESET):** Simboliza a ação de "apagar todos os valores introduzidos". Este botão é uma funcionalidade importante para reiniciar o processo de dimensionamento, permitindo ao utilizador começar de novo sem ter de apagar manualmente cada campo.
- **Calculadora (DIMENSIONAR):** Este ícone representa a função central da ferramenta: "DIMENSIONAR a rede". Ao clicar neste símbolo, o utilizador espera que a folha de cálculo execute os cálculos necessários para o dimensionamento das tubagens de gás, com base nos dados previamente inseridos.
- **Casa (RETORNAR):** Indica a opção de "RETORNAR à página inicial". Este símbolo oferece um atalho para a primeira página da ferramenta, proporcionando uma forma rápida de reiniciar ou aceder à visão geral da aplicação.

Na Figura 12 podem visualizar-se as instruções e os passos a seguir para se efetuar o dimensionamento de uma rede em Média Pressão.

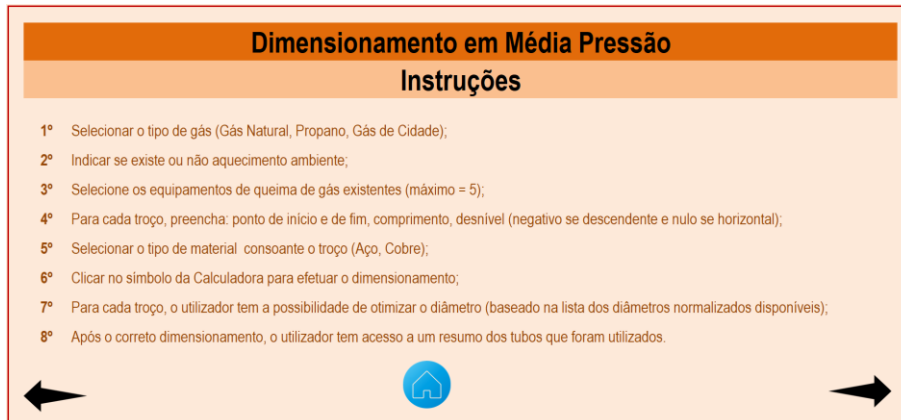


Figura 12: Instruções para o dimensionamento em Média Pressão.

A seguir às instruções, o utilizador deve proceder à seleção do gás que vai ser utilizado na instalação (Figura 13), após o qual é informado das características termodinâmicas do mesmo.

Figura 13: Écran de seleção do tipo de Gás.

Em seguida o utilizador deve indicar, através de seleção *dropdown*, se existe ou não Aquecimento Ambiente (Figura 14), uma vez que tal fator vai influenciar os valores do Fator de Simultaneidade (S).

Figura 14: Imagem onde se deveria selecionar a existência do aquecimento ambiente .

No écran seguinte (Figura 15) o utilizador deve indicar os equipamentos de queima de gás existentes, num máximo de cinco. Para tal, após escolher o tipo de aparelho, deverá indicar a respetiva marca e modelo, sendo de imediato informado acerca da potência nominal do mesmo.

Tipo	Marca Modelo Potência	Observações	Potência
#1			
#2			
#3			
#4			
#5			

Figura 15: Imagem onde se deveria selecionar a marca e modelo dos equipamentos de equipamento de queima.

Na Figura 16 pode visualizar-se a imagem do écran de Dimensionamento em Média Pressão, onde o utilizador, após consultar o traçado isométrico da instalação, deve preencher a informação de cada um dos troços existentes.

Critérios de Verificação e Conformidade:

- Perda de Carga (ΔP acumul.) reflete a perda de pressão acumulada desde o ponto inicial da rede até ao final do troço em análise. O valor é comparado com um limite máximo admissível, que para a Média Pressão é de 30 mbar. Se aparecer um "x" vermelho na respetiva linha, indica que nesse troço o limite já foi excedido, sinalizando um erro crítico no dimensionamento, obrigando à intervenção do utilizador, impondo um diâmetro superior;
- Velocidade: A velocidade do escoamento do gás dentro da tubagem é verificada para garantir que não excede o limite de segurança de 15 m/s. Velocidades excessivas podem causar ruído, vibração e degradação da tubagem. O "x" vermelho também indica que este critério não está a ser cumprido, obrigando à intervenção do utilizador;

Após esta sequência de procedimentos, a folha de cálculo determina automaticamente um diâmetro normalizado interno mínimo para cada troço em análise. Contudo, compete ao utilizador tentar utilizar outros diâmetros (normalizados) de forma a otimizar a rede.

No écran seguinte da calculadora (Figura 17) é apresentado um resumo dos tubos de aço e de cobre que foram projetados para a rede de Média Pressão.

Tubos necessários para a rede: MP	
Aço	Cobre
2"	4.4 mm
1 1/2"	6.4 mm
1 1/4"	8.4 mm
1"	10.4 mm
3/4"	13.0 mm
1/2"	16.0 mm
	20.0 mm
	25.6 mm
	32.0 mm
	39.0 mm
	50.0 mm
	60.0 mm

Figura 17: Imagem do resumo dos tubos de aço, e cobre

A tabela está organizada em duas secções, por material:

- **Aço:** Apresenta os diâmetros nominais em polegadas ("), abrangendo os tamanhos mais comuns para redes de distribuição, desde 1/2" até 2". O aço é frequentemente utilizado em troços principais e redes exteriores devido à sua elevada resistência mecânica e capacidade para suportar pressões mais altas, características essenciais em redes de Média Pressão.
- **Cobre:** Lista uma vasta gama de diâmetros em milímetros (mm) desde 4,4 mm até 60,0 mm. Em redes de Média Pressão, o cobre pode ser utilizado em ramais secundários ou em situações específicas onde a sua maleabilidade e

Depois, para cada troço, deve indicar através de siglas, os aparelhos abastecidos:

- 5 aparelhos → seleccionar a sigla "TODOS" em #1;
- 4 aparelhos → seleccionar as respetivas siglas em #1, #2, #3 e #4;
- 3 aparelhos → seleccionar as respetivas siglas em #1, #2, #3;
- 2 aparelhos → seleccionar as respetivas siglas em #1, #2;
- 1 aparelho → seleccionar a respetiva sigla em #1;

Análise do Ponto Crítico da Rede:

- Após o preenchimento dos troços, o utilizador deve clicar no símbolo da CALCULADORA de modo a obter o caminho e o comprimento crítico da instalação de gás em baixa pressão. Quando o cálculo é concluído, é apresentado o Caminho Crítico, o Comprimento Crítico e o Nó Crítico do traçado.

CrITÉRIOS de Verificação e Conformidade:

- Perda de Carga ($\Delta P_{\text{acumul.}}$): Esta coluna verifica se a perda de carga acumulada desde o início da rede até ao final do troço se mantém abaixo do limite regulamentar (neste caso, < 1,5 mbar). O "x" vermelho indica que a condição não foi cumprida, sinalizando um problema no dimensionamento;
- Velocidade (V): Verifica se a velocidade do gás no interior da tubagem está abaixo do limite de segurança (neste caso, < 10 m/s) para evitar ruído, erosão e perdas de carga excessivas. O "x" vermelho também indica incumprimento;

Nota: Surgirá no écran um alerta caso exista uma violação da regra "Em troços de aço que abasteçam dois ou mais aparelhos de gás, o diâmetro mínimo é de 3/4".

Após este passo, o utilizador terá acesso a quadros onde verá o resumo dos tubos utilizados na rede de Baixa Pressão (Figura 20) e uma súmula geral de todos os tubos da instalação (Média e Baixa Pressão (Figura 21).

Tubos necessários para a rede: BP	
Aço	Cobre
2"	4.4 mm
1 1/2"	6.4 mm
1 1/4"	8.4 mm
1"	10.4 mm
3/4"	13.0 mm
1/2"	16.0 mm
	20.0 mm
	25.6 mm
	32.0 mm
	39.0 mm
	50.0 mm
	60.0 mm

Figura 20: Imagem do resumo dos tubos necessário para rede de Baixa Pressão.

Tubos necessários para a rede: MP + BP

Aço	Cobre
2"	4.4 mm
1 1/2"	6.4 mm
1 1/4"	8.4 mm
1"	10.4 mm
3/4"	13.0 mm
1/2"	16.0 mm
	20.0 mm
	25.6 mm
	32.0 mm
	39.0 mm
	50.0 mm
	60.0 mm




Figura 21: Imagem do resumo dos tubos necessário para rede de Média e Baixa Pressão.

Tipo de Gás

Gás Natural

Propriedades do Gás Natural

PCI: 9 054 kcal/m³

d₁: 0.65 ---

d₂: 0.62 ---

P abastec.: 100 mbar

Figura 23: Imagem que ilutre a selção do tipo de gas

Na Figura 24 mostra-se que foi indicada a existência de aquecimento ambiente nos fogos do prédio uma que os mesmos estão dotados de caldeiras.

Existência de Aquecimento Ambiente?

Sim

Figura 24: Imagem ilustra sobre a existência do aquecimento ambiente

Na Figura 25 ilustra-se a inserção de informações sobre o tipo, marca e modelo dos equipamentos de queima de gás.

Seleção de Marca e Modelo dos equipamentos de queima de gás			
Tipo	Marca Modelo Potência	Observações	Potência
#1 Fogão	pi modular F60/60PC/T 13,0 kW	Simplex	13.00 kW
#2 Caldeira	Ferrolli 695L00284 28,0 kW	---	28.00 kW
#3			
#4			
#5			

Figura 25: Imagem ilustra a seleção dos equipamentos os seus maracas modelos e potências

Na Figura 26 ilustra-se a informação colocada pelo utilizador para definir cada troço da rede.

Dimensionamento em Média Pressão (MP)												
Codificação dos troços			Nº de fogos abastecidos	Comprimento do troço	Desnível do troço	Material do troço	D _{imposto} Automaticamente	D _{imposto} Utilizador	D _{externo}	D _{nominal}	ΔP _{acumul.} < 30 mbar	Velocidade < 15 m/s
Nº	Início	Fim	N	L _{real}	h	---						
# 01	A	B	60	21.50 m	1.50 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 02	B	D	54	1.50 m	1.50 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 03	D	E	48	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 04	E	F	42	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 05	F	G	36	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 06	G	H	30	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 07	H	I	24	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 08	I	J	18	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 09	J	K	12	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 10	K	L	6	3.00 m	3.00 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 11	L	M	3	0.80 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 12	M	N	2	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 13	N	O	1	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 14	B	C	6	1.50 m	-1.50 m	Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 15	C	P	3	0.80 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 16	P	Q	2	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x
# 17	Q	R	1	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	x	x

Comprimento Crítico: #N/D Nó Crítico: #N/D

Figura 26: Imagem do preenchimento da folha de claculo da rede em Média Pressão Após ter sido acionada a **CALCULADORA**, observa-se na Figura 27 que já há indicação do comprimento crítico (48,80 m), parâmetro essencial à continuação dos cálculos.

Dimensionamento em Média Pressão (MP)												
Codificação dos troços			Nº de fogos abastecidos	Comprimento do troço	Desnível do troço	Material do troço	D _{imposto} Automaticamente	D _{imposto} Utilizador	D _{externo}	D _{nominal}	ΔP _{acumul.} < 30 mbar	Velocidade < 15 m/s
Nº	Início	Fim	N	L _{real}	h	---						
# 01	A	B	60	21.50 m	1.50 m	Aço	53.1 mm		2"	DN 50	5.59 mbar ✓	9.8 m/s ✓
# 02	B	D	54	1.50 m	1.50 m	Aço	53.1 mm		2"	DN 50	0.26 mbar ✓	8.8 m/s ✓
# 03	D	E	48	3.00 m	3.00 m	Aço	41.9 mm		1 1/2"	DN 40	1.60 mbar ✓	12.9 m/s ✓
# 04	E	F	42	3.00 m	3.00 m	Aço	41.9 mm		1 1/2"	DN 40	1.44 mbar ✓	12.3 m/s ✓
# 05	F	G	36	3.00 m	3.00 m	Aço	41.9 mm		1 1/2"	DN 40	1.12 mbar ✓	10.8 m/s ✓
# 06	G	H	30	3.00 m	3.00 m	Aço	41.9 mm		1 1/2"	DN 40	0.76 mbar ✓	9.0 m/s ✓
# 07	H	I	24	3.00 m	3.00 m	Aço	36.0 mm		1 1/4"	DN 32	1.11 mbar ✓	9.8 m/s ✓
# 08	I	J	18	3.00 m	3.00 m	Aço	36.0 mm		1 1/4"	DN 32	0.64 mbar ✓	7.5 m/s ✓
# 09	J	K	12	3.00 m	3.00 m	Aço	27.3 mm		1"	DN 25	1.53 mbar ✓	9.6 m/s ✓
# 10	K	L	6	3.00 m	3.00 m	Aço	21.7 mm		3/4"	DN 20	1.59 mbar ✓	8.4 m/s ✓
# 11	L	M	3	0.80 m		Aço	21.7 mm		3/4"	DN 20	0.18 mbar ✓	5.1 m/s ✓
# 12	M	N	2	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	0.30 mbar ✓	7.2 m/s ✓
# 13	N	O	1	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	0.16 mbar ✓	5.1 m/s ✓
# 14	B	C	6	1.50 m	-1.50 m	Aço	21.7 mm		3/4"	DN 20	0.92 mbar ✓	8.4 m/s ✓
# 15	C	P	3	0.80 m		Aço	21.7 mm		3/4"	DN 20	0.18 mbar ✓	5.0 m/s ✓
# 16	P	Q	2	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	0.30 mbar ✓	7.1 m/s ✓
# 17	Q	R	1	0.50 m		Aço	16.1 mm		1/2"	DN 15	0.16 mbar ✓	5.1 m/s ✓

Comprimento Crítico: **48.80 m** A-B-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O Nó Crítico: **0**

Figura 27: Imagem da folha de cálculo em Média Pressão após o carregamento no ícone. Na Figura 28 apresenta-se o resumo da totalidade de tubos utilizados em média pressão.

Aço		Cobre	
2"	23.0 m	4.4 mm	
1 1/2"	12.0 m	6.4 mm	
1 1/4"	6.0 m	8.4 mm	
1"	3.0 m	10.4 mm	
3/4"	6.1 m	13.0 mm	
1/2"	2.0 m	16.0 mm	
		20.0 mm	
		25.6 mm	
		32.0 mm	
		39.0 mm	
		50.0 mm	
		60.0 mm	

Figura 28: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Média pressão

Instalações Individuais – BP

Na Figura 29 apresenta-se um traçado isométrico da rede de gás de baixa pressão.

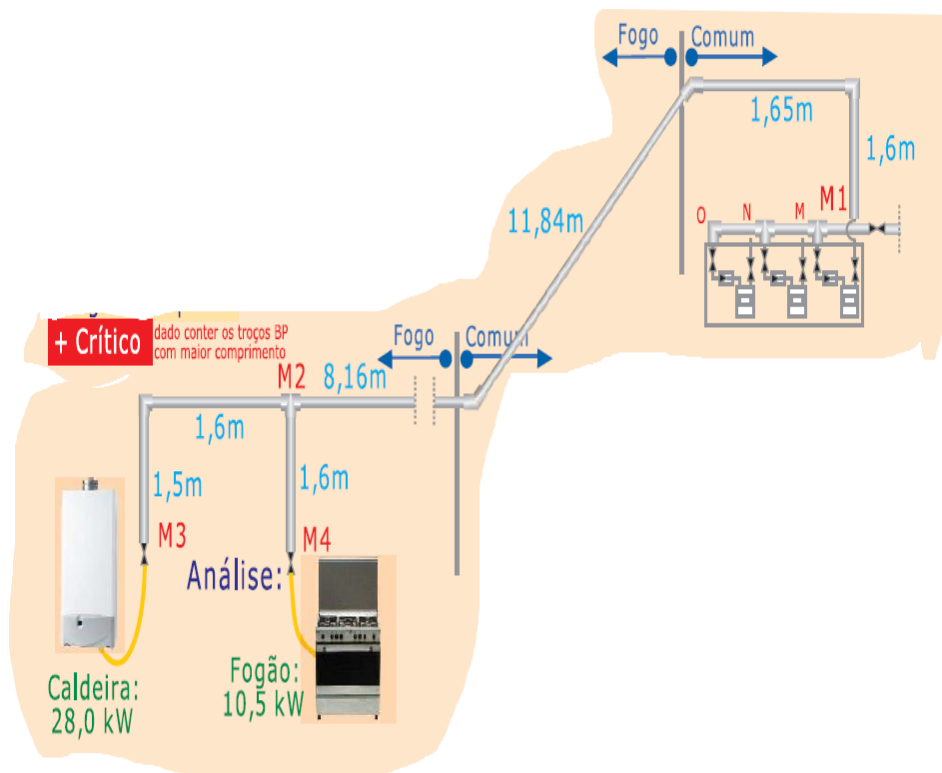


Figura 29: Desenho isométrico ilustrativo da rede em Baixa Pressão.

Na Figura 30 exemplifica-se os dados introduzidos pelo utilizador, com preenchimento da codificação dos treços, comprimento real dos treços, e os respetivos desníveis.

Tubos necessários para a rede: BP

Aço	Cobre
2"	4.4 mm
1 1/2"	6.4 mm
1 1/4"	8.4 mm
1"	10.4 mm
3/4"	13.0 mm
1/2"	16.0 mm
	20.0 mm
	25.6 mm
	32.0 mm
	39.0 mm
	50.0 mm
	60.0 mm


←  →

Figura 32: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Baixa Pressão
 Por fim, na Figura 33 são apresentados todos os tubos de Aço requeridos para a instalação, quer em Média Pressão, quer em Baixa Pressão.

Tubos necessários para a rede: MP + BP

Aço	Cobre
2"	4.4 mm
1 1/2"	6.4 mm
1 1/4"	8.4 mm
1"	10.4 mm
3/4"	13.0 mm
1/2"	16.0 mm
	20.0 mm
	25.6 mm
	32.0 mm
	39.0 mm
	50.0 mm
	60.0 mm


←  →

Figura 33: Imagem de resumo tubos usados para o dimensionamento em Média e Baixa Pressão

5. CONCLUSÕES

O projeto alcançou plenamente os seus objetivos primários, resultando na criação de uma folha de cálculo em Excel robusta e automatizada para o dimensionamento de redes de gás combustível. Esta ferramenta representa um avanço substancial em relação aos métodos manuais, que são propensos a erros e consomem tempo. Especificamente, a calculadora foi concebida para:

- **Automatizar Cálculos Complexos:** A capacidade de realizar automaticamente cálculos rigorosos de dimensionamento, incluindo a determinação do percurso crítico, o cálculo de perdas de carga e a verificação das pressões inicial e final em cada troço, foi implementada com sucesso. Isso garante uma precisão inigualável e uma redução drástica do tempo necessário para a elaboração de projetos.
- **Garantir Conformidade Normativa e Legal:** Um dos pilares do desenvolvimento foi a adesão estrita à legislação portuguesa e às normas técnicas específicas do setor. A ferramenta incorpora os parâmetros típicos utilizados em Portugal, assegurando que todos os projetos gerados estejam em total conformidade com os requisitos de segurança e regulamentares vigente
- **Oferecer Flexibilidade e Abrangência:** A folha de cálculo demonstra uma notável versatilidade, permitindo o dimensionamento para uma vasta gama de cenários. Suporta diferentes tipos de gases combustíveis, como Gás Natural, Gás de Cidade e Gás de Petróleo Liquefeito (GPL), e é aplicável tanto a sistemas de Média Pressão (MP) quanto de Baixa Pressão (BP). Além disso, considera diversos materiais de tubagem, incluindo Aço, Cobre e Polietileno, adaptando-se às necessidades específicas de cada instalação.
- **Proporcionar Suporte Abrangente ao Projetista:** Para além dos cálculos, a ferramenta integra funcionalidades que otimizam o fluxo de trabalho do engenheiro. Inclui a sugestão do diâmetro mais adequado para cada segmento da rede, a implementação de alertas para valores que excedam os limites admissíveis e a geração automática de listas de materiais, facilitando a preparação e execução da obra. Esta abordagem holística contribui para processos de projeto mais eficientes e menos suscetíveis a falhas.

O desenvolvimento deste projeto foi uma jornada de aprendizagem multifacetada, que consolidou e expandiu os conhecimentos adquiridos na formação em Engenharia e Gestão Industrial. As principais aprendizagens incluem:

- **Integração de Conhecimentos Multidisciplinares:** O trabalho exigiu a síntese e aplicação prática de conceitos fundamentais de Termodinâmica, Mecânica de Fluidos e Redes de Distribuição de Fluidos. Esta integração demonstrou a interconexão dessas disciplinas na resolução de problemas de engenharia do mundo real.

- **Profunda Compreensão da Normalização e Legislação:** A necessidade de desenvolver uma ferramenta em conformidade com as regulamentações portuguesas proporcionou uma imersão aprofundada nas normas técnicas do setor. Isso reforçou a importância crítica da normalização para a segurança, eficiência e fiabilidade das instalações de gás, bem como a capacidade de interpretar e aplicar complexos quadros legais.
- **Aprimoramento de Competências em Ferramentas de Engenharia:** A utilização avançada do Microsoft Excel para a criação de uma ferramenta de cálculo complexa permitiu o aprofundamento de competências em programação de fórmulas, lógica condicional e automatização de tarefas. Esta experiência é valiosa para o desenvolvimento de soluções práticas em diversos contextos de engenharia.
- **Gestão de Projetos e Resolução de Problemas:** O processo de desenvolvimento, desde a conceção até à implementação e teste, proporcionou uma experiência prática em gestão de projetos. A identificação e resolução de desafios técnicos ao longo do caminho contribuíram para o desenvolvimento de uma mentalidade analítica e proativa na resolução de problemas.

REFERÊNCIAS

- [1] B. A. Bastos, *Comparação Do Desempenho De Sistemas Frigoríficos Com Vários Fluidos Frigorígenos Naturais*, 2024.
- [2] Ana Paula Rosa, “Gases Combustíveis – Cola da Web,” Cola da Web, [Online]. Available: <https://www.coladaweb.com/quimica/combustiveis/gases-combustiveis>. [Acedido em 18 Julho 2025].
- [3] E. –. E. R. d. S. Energéticos, “Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE),” [Online]. Available: <https://www.erse.pt/combustiveis-e-gpl/funcionamento/gases-de-petroleo-liquefeito-gpl/>. [Acedido em 2025 07 24].
- [4] F. G. Energia, *Gás Natural - A História*.
- [5] C. V. d. Gama, “Ciências Naturais 3.º Ciclo – Colégio Vasco da Gama,” Colégio Vasco da Gama, 2021. [Online]. Available: <https://colegiovascodagama.pt/ciencias3c/onze/geologia2.1sed.html>. [Acedido em 27 06 2025].
- [6] . S. Mokhatab e W. Poe , “Handbook of Natural Gas Transmission and Processing,” Gulf Professional Publishing, Waltham, MA, USA, 2012.
- [7] APTA, “Formulário MP – Baixa Pressão (v. 2017),” APTA – Associação Portuguesa de Técnicos de Aparelhos a Gás, Lisboa Portugal , 2017.
- [8] Portgás, *Manual de Especificações Técnicas da Portgás*, 9ª ed., 2019.
- [9] APTA, “Formulário BP – Baixa Pressão (v. 2017),” Associação Portuguesa de Técnicos de Aparelhos a Gás, Lisboa Portugal , 2017.
- [10] APTA, *Folha de Cálculo Gás-Dimensionamento Instalação Aço 2022_1111*, 2022.
- [11] J. S. Gomes e F. B. Alves, *O universo da Indústria Petrolífera da Pesquisa a Refinaria*, Lisboa Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014.
- [12] E. R. d. S. Energéticos, *Caracterização do Sector do Gás Natural em Portugal*, Portugal. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2003.
- [13] L. Neto, “Caracterização dos gases combustíveis.,” em *Manual técnico especializado em gás natural e outros combustíveis gasosos*, Portugal Lisboa, 2000, p. 21.
- [14] D.-G. d. E. e. Geologia, “Instalações de gás em edifícios,” DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia, [Online]. Available:

<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/combustiveis/instalacoes-de-gas-em-edificios/>. [Acedido em 18 07 2025].

[15] E. S. Solis, "Renovables.blog," Renovables.blog, [Online]. Available: https://renovables.blog/pt/blog/o-que-%C3%A9-g%C3%A1s-urbano/#composicion_del_gas_ciudad. [Acedido em 24 07 2025].