

**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Mecânica 2018

João Alexandre Ramos Pereira Parametrização, validação e sistematização dos testes de estanquidade de torneiras



### João Alexandre Ramos Pereira

# Parametrização, validação e sistematização dos testes de estanquidade de torneiras

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizado sob orientação científica de Vítor António Ferreira da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Com o apoio dos projetos: UID/EMS/00481/2013-FCT e CENTRO-01-0145-FEDER-022083

### O júri / The jury

Presidente / President	<b>Professor Doutor Fernando José Neto da Silva</b> Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro
Vogais / Committee	<b>Engenheiro Pedro António Viana Teotónio Pereira</b> Gestor de Qualidade, Ambiente, Saúde e Segurança da Grohe Portugal - Compo- nentes Sanitários, Lda, Albergaria-a-Velha
	<b>Professor Doutor Vítor António Ferreira da Costa</b> Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade

de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements Agradeço ao meu orientador académico, Professor Vítor Costa, por toda a disponibilidade, orientação e contribuição durante esta minha etapa académica.

Os meus agradecimentos à empresa GROHE, em especial à fábrica GROHE Portugal em Albergaria-a-Velha, por me ter acolhido de uma forma tão profissional e recetiva, disponibilizando todos os meios essenciais à concretização deste Estágio.

Um especial agradecimento ao Engenheiro Sérgio Oliveira, meu orientador na empresa, por todo o acompanhamento, profissionalismo, e de destacar o sentido de humor, que sempre demonstrou no decorrer do meu estágio curricular. Agradeço igualmente a toda a equipa de Engenharia, nomeadamente a Cláudia Barbosa, Alexandre Fernandes, Luís Pinho, Manuel Costa, Ralph Hirner, Vânia Borges, Virgílio Pinheiro, assim como a Joaquim Cardoso, pela abertura e companheirismo manifestado ao longo deste Estágio.

À minha família, nomeadamente à minha Mãe, Pai, Irmão e Tia, por todas as oportunidades, dedicação e disponibilidade que sempre demonstraram, dedico um especial agradecimento.

Os meus sinceros agradecimentos à Sara, que sempre manifestou um incondicional apoio e amizade.

Para finalizar, agradeço aos meus companheiros *thetianos* que, de uma forma ou de outra, foram contribuindo ao longo do meu trajeto académico e pessoal nestes últimos anos.

#### Palavras-chave

Resumo

Leak Rate; Parametrização; Fugas; Estanquidade

No presente Relatório de Estágio procede-se a uma análise aprofundada das características de estanquidade das torneiras produzidas pela GROHE e do modo como é feita a sua avaliação, por forma a redefinir e *standardizar* os parâmetros a utilizar nos testes de estanquidade realizados no fim da linha de montagem. O relatório inclui também a análise das condições de utilização dos equipamentos de teste e a redefinição de regras para a calibração e manutenção de 1º nível dos mesmos. À luz do conhecimento e informação adquiridos pelo estudo efetuado durante os 6 meses de duração do estágio na unidade fabril GROHE Albergaria, propõe-se um conjunto de melhorias e alterações com vista à otimização das metodologias de verificação de estanquidade das torneiras, com especial foco nos equipamentos *Fortest*, que segue o método de abaixamento de pressão. Por fim, o conceito deverá ser implementado com sucesso numa linha piloto, e preparado para ser posteriormente estendido às restantes linhas e produtos.

Keywords	Leak Rate; Parameterization; Leaks; Leakproofness
Abstract	This intership intends to make an in-depth analysis of the sealing characte- ristics of GROHE's produced faucets, in order to redefine and standardize the parameters to be used at the end-of-line leakage test. The present re- port also includes the analysis of the operation conditions and setting of new calibration and maintenance of first level principles. In the light of all the knowledge and data acquisition acquired during the 6-month internship at GROHE's Albergaria factory, a set of improvements and changes are proposed with a view to optimizing faucet's leak rate testing methodology, with a special focus on the Fortest equipments, using the pressure decay method. Finally, the concept should be succefully implemented in a pilot line, and prepared to be subsequently extended to the remaining lines and products.

# Índice

1	Intr	rodução	1
	1.1	Enquadramento, relevância e objetivos do estágio	1
	1.2	Problema e motivação	1
	1.3	GROHE	2
	1.4	Estrutura do Relatório	3
<b>2</b>	Def	inição de fuga	<b>5</b>
	2.1	Definição geral de fuga	5
	2.2	Avaliação e quantificação de fugas	9
3	GR	OHE Albergaria	11
	3.1	Processo produtivo que compõe a unidade de Albergaria (GROHE Portugal)	12
	3.2	Fundição	12
	3.3	Maquinação	14
	3.4	Lixamento e polimento	15
	3.5	Galvânica	17
	3.6	Montagem	20
	3.7	Definição, avaliação e quantificação de fugas segundo os procedimentos	
		GROHE	23
4	Pro	dutos a analisar	<b>25</b>
	4.1	Descrição e especificação dos produtos	25
		4.1.1 Torneiras de Casa de Banho	26
		4.1.2 Torneiras de Cozinha	28
		4.1.3 Torneiras Termostáticas	31
	4.2	Principais problemas de fugas em produtos, assim como as suas con-	
		sequências nos testes de fuga	34
		4.2.1 Rebarbas em ferramentas de maquinação	34
		4.2.2 Fornecedores	35
		4.2.3 Defeitos fundição	36
		4.2.4 Parâmetros maquinagem	38
		4.2.5 Bancadas de teste	39
		4.2.6 Outros	40
<b>5</b>	For	mulações e conceitos chave no domínio da deteção de fugas	43
	5.1	Estabelecimento dos modelos físicos para a quantificação de fugas	43
	5.2	Identificação dos parâmetros mais relevantes para as fugas	46

6	Mé	todos de teste e deteção de fugas, e respetivas vantagens e desvan-	
	tage	ens	<b>57</b>
	6.1	Enquadramento dos métodos e modelos de deteção e avaliação de fugas .	57
	6.2	Diferentes métodos e modelos de deteção de fugas	60
		6.2.1 Teste de bolhas (Bubble test)	61
		6.2.2 Teste de ultra sons $(ultrasonic)$	62
		6.2.3 Deteção, spray e acumulação de hélio	63
		6.2.4 Testes de vácuo	65
		6.2.5 Testes de fugas a ar	67
	6.3	Erros mais comuns de <i>leak testing</i>	73
7	Dia	gnóstico, e propostas de melhoria	75
	7.1	Análise crítica dos problemas na medição de fugas na GROHE	75
		7.1.1 Parametrização e calibração dos equipamentos de teste de fuga	77
	7.2	Procedimento experimental	82
		7.2.1 Teste analógico	82
		7.2.2 Validação dos equipamentos adquiridos	92
		7.2.3 Teste digital	94
	7.3	Descrição do sistema proposto de teste de fugas na GROHE Albergaria . 1	108
		7.3.1 Dispositivo de teste	109
		7.3.2 Controlo de processo	110
		7.3.3 Parâmetros de estanquidade	111
		7.3.4 Bancada	111
	7.4	Propostas de melhoria, e problemas que visam resolver	112
	7.5	Desempenho e impacto esperado da solução incorporando as propostas de	
		melhoria	114
	7.6	Parametrização de um novo modelo de torneira	116
8	Cor	nclusões 1	19
	8.1	Principais conclusões	119
	8.2	Desenvolvimentos futuros	120
$\mathbf{A}$	Ane	exos 1	.27
в	Tab	oelas de conversões de unidades relevantes no universo de medição	
	de f	fugas 1	47

## Lista de Tabelas

5.1	Dependência de variação de pressão em relação a um diferencial de tem-
	peratura, adaptada de [49]
5.2	Dependência do volume em função do LPM, adaptada de [50] 51
5.3	Dependência do volume em função do LPM, adaptado de [50] 51
5.4	Depedência de ${\bf Cg}$ em função do tempo de estabilização, consultada em
	$[54] \ldots 53$
5.5	Relação de $Cg$ para diferentes tubagens, consultada em [56] 54
6.1	Aplicações de testes de fuga, adaptada de [64]
6.2	Comparação entre o método de fluxo de massa (IGLS) e perda de pressão,
	adaptade de $[6]$
7.1	Tabela de volumes e especificações de teste/torneiras
7.2	Perspetiva geral dos valores de comparação de Leak Test Overview AL170727. 86
7.3	Tabela de auxílio à estruturação dos gráficos. 89
7.4	Diferentes valores de <i>leak rate</i> para cartucho fechado
7.5	Diferentes valores de <i>leak rate</i> para cartucho aberto
7.6	Diferentes valores de <i>leak rate</i> para <i>crossflow</i>
7.7	Comparação dos valores de diferentes parametrizações em torneiras ter-
	mostáticas
7.8	Influência da temperatura nos volumes medidos
A.1	Diferentes regimes de fluxo
A.2	Ficha de parâmetros para medidores <i>CETA &amp; Ateq</i>
A.3	Ficha de parâmetros para medidores CETA & Ateq
A.4	Folha excel para o cálculo do leak rate
A.5	Calibrator technical data
A.6	Torneiras avaliadas no processo digital
A.7	Torneiras com mais índice de reclamações pelos clientes

# Lista de Figuras

$1.1 \\ 1.2$	Logótipo e <i>Slogan</i> da LIXIL, consultado em [1]	$\frac{2}{3}$
$2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \\ 2.5$	Passagem de fluxo de um fluido por uma falha, consultada em [7] Tipos de fugas, consultada em [13]	5 7 8 9 9
3.1	Departamentos da GROHE.	11
3.2	Operações de Produção da GROHE Albergaria.	12
3.3	Macho em areia.	12
3.4	Máquina de produção de machos de areia.	13
3.5	Maquina fundição a baixa pressão.	13
3.6	Máquina de comando numérico (CNC).	14
3.7	Teste de fugas no departamento de maquinação.	15
3.8	Corpo de torneira maquinado	15
3.9	Robô de lixamento	16
3.10	Polimento manual.	16
3.11	Polimento automático	16
3.12	Corpo no fim do processo de lixamento e polimento.	17
3.13	Suspensões de torneiras para processo de galvânica	17
3.14	Elevador de banhos químicos.	18
3.15	Suporte com peças descromadas e posteriormente polidas/lixadas. $\ldots$ .	18
3.16	Departamento de PVD da GROHE Albergaria	19
3.17	Torneiras após $PVD$ (esquerda) e após $PVD + Brushing$ (direita)	20
3.18	Corpos de torneira prontos para montagem	20
3.19	Bancada de montagem de torneiras	21
3.20	Folha de gravação e respetivo <i>jig.</i>	21
3.21	Torneira a ser embalada	22
3.22	Torneiras já embaladas.	22
3.23	Linhas de montagem de torneiras termostáticas.	22
3.24	Torneiras com fuga (codificadas com o número 80)	23
3.25	Diferentes tipos de <i>leak testers</i> em utilização na GROHE Albergaria, adap- tada de [19, 20, 21].	24
4.1	Torneiras produzidas na GROHE Albergaria	25

4.2	Torneiras de Casa de Banho, consultada em [22]	26
4.3	Torneiras de banho testadas no decorrer do estágio	27
4.4	Torneiras de cozinha, consultada em [23].	28
4.5	GROHE zero, consultada em [26].	29
4.6	Torneiras de cozinha testadas no decorrer do estágio	30
4.7	Torneira termostática, consultada em [26]	31
4.8	CAD de torneira termostática (Essence New OHM shower exp)	32
4.9	Torneiras termostáticas testadas no decorrer do estágio	33
4.10	Defeito em corpo de torneira por problemas de maquinação	34
4.11	Inconformidade devida a linha de junta de molde	35
4.12	Componente de cartucho com defeito.	36
4.13	Corpo de torneira com rompimento numa secção de separação	36
4.14	Rechupes, poros e enchimento incompleto	38
4.15	Corpo com um avanço excessivo de ferramenta no processo de maquinagem.	39
4.16	O'ring de cartucho termostático cortado	39
4.17	Bancada de teste de estanquidade desajustada	40
4.18	Fuga a 1 bar.	41
۳ 1		45
0.1 F 0	Variação de <i>leak fate</i> em runção do volume de teste.	45
0.2	Dependencia da fuga na pressao e no nuxo em runção do diametro da	17
59	Saco perfundo pero alcier	41
0.0	tornoiras tormostáticas	18
5.4	Saco com uma tornaira	40
0.4	termostática no seu interior	18
5.5	Dependência da viscosidade	-10
0.0	do ar com a temperatura, consultada em [44]	49
5.6	Dependência da viscosidade da	10
0.0	água com a temperatura, consultada em [45].	49
5.7	Separação entre pecas admissíveis (a verde) e pecas rejeitadas (a verme-	
	lho), com respetivos valores de <b>Cg</b> para cada gráfico, consultada em [55].	54
5.8	Perfis de vários tipos de regimes de fluxo, consultada em [60]	55
6.1	Teste de bolhas imerso em água, consultada em [50]	61
6.2	Teste de bolhas com	
	spray de espuma, consultada em [68]	61
6.3	Teste de ultra sons, adaptada de [69].	63
6.4	Deteção de hélio por <i>sniff</i> , consultada em [50]	64
6.5	Deteção de hélio por spray, consultada em [50]	64
6.6	Teste de acumulação de hélio, consultada em [13]	65
6.7	Gráfico de fases de teste	
	do teste de acumulação de hélio.	65
6.8	Teste de tuga a vácuo, consultada em [66]	67
6.9	Sistema de teste de fugas a ar, adaptada de [64]	67
6.10	Granco do ciclo de teste de um método de <i>pressure decay</i> , consultado em	00
0.11	[/3].	68
6.11	Granco do ciclo de teste de um metodo de <i>pressure decay</i> , adaptada de [74].	68

6.12	Metodologia de deteção de fuga por abaixamento de pressão, consultada em [13].	70
6.13	Metodologia de diferencial de pressão, consultada em [13].	71
6.14	Funcionamento do método de detecão de fugas por fluxo mássico, consul-	
	tada em [78].	71
6.15	Comparação entre vários métodos de detecão de fugas, adaptada de [57].	73
	I Guiden (1.1)	
7.1	Ficha de parâmetros de teste de estanquidade Fortest	76
7.2	Torneira de calibração de parâmetros	77
7.3	Calibração direta com recurso ao dispositivo Mecotec.	79
7.4	Certificado de calibração de equipamentos $\mathit{Fortest}$ em utilização na GROHE	
	Albergaria.	79
7.5	Ligação em paralelo dos dispositivos mecotec e $hand\ pump.$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$	80
7.6	Calibração do modo diferencial	81
7.7	Fuga padrão CETA.	81
7.8	Medição de volumes com seringa	82
7.9	Corte no $CAD$ de uma torneira de banheira	83
7.10	Aquadimmer, consultada em [80]	84
7.11	Histograma cartucho fechado, GROHE Albergaria.	87
7.12	Histograma cartucho fechado, GROHE Hemer.	88
7.13	Histograma cartucho aberto, GROHE Albergaria	90
7.14	Torneira banheira com canais de saída identificados	91
7.15	Equipamentos Fortest adquiridos, consultada em [64].	92
7.16	Bancada experimental	93
7.17	Validação equipamento e formulação	94
7.18	Conexões Fortest.	95
7.19	Adaptadores criados para medição de volumes das diferentes torneiras	95
7.20	4 principais fases de teste do <i>Fortest T8000+</i>	96
7.21	Montagem de conexões pneumáticas numa torneira.	97
7.22	Histograma do cartucho fechado com teste com Fortest.	98
7.23	Escala de abaixamento de pressão em testes de fugas.	99
7.24	Histograma cartucho aberto com teste com Fortest	100
7.25	Teste de <i>crossflow</i>	102
7.26	Comparação de <i>leak rate</i> entre Albergaria e Hemer	103
7.27	Ficha de parâmetros GRT	104
7.28	Valores de <i>leak rate</i> com tempo de estabilização corrigido	105
7.29	Torneira estudada.	106
7.30	Influência da temperatura nos volumes medidos.	107
7.31	Fluxograma referente ao sistema de teste de fuga da GROHE Albergaria.	109
7.32	Equipamento Fortest.	110
7.33	Peças padrão.	111
7.34	Ficha de Parâmetros atualizada.	112
7.35	Bancada experimental adquirida no âmbito do estágio	117
A.1	Conversao gráfica de uma fuga de ar para água	128
A.2	Folha de calibração atual, com falhas e incoerências	129
A.3	Datasheet T8990	137

A.4 Orçamento dispositivos adquiridos no âmbito do estágio curricular $\ .\ .\ .\ 140$ 

# Lista de Siglas

CAD	Desenho Assitido por Computador (Computer-Aided Design)
IGLS	Mass leak flow
LPM	Livre percurso médio
NDT	Testes não-destrutivos
$P_{atm}$	Pressão atmosférica
PPM	Parte por milhão
PVD	Deposição física de vapor
R&D	Investigação e desenvolvimento (Research & Development)

# Capítulo 1 Introdução

#### 1.1 Enquadramento, relevância e objetivos do estágio

No âmbito de um estágio curricular, foi proposto pela empresa GROHE, mais concretamente a unidade fabril em Albergaria-a-Velha, a realização de um estudo referente aos métodos de verificação de estanquidade das torneiras lá fabricadas e montadas. A área em foco incide-se não na totalidade das torneiras produzidas, mas sim em alguns modelos pertencentes aos mais variados *streams*, como torneiras termostáticas, de cozinha e de banheira/chuveiro, não invalidando contudo que outras torneiras tenham sido também avaliadas e testadas com o fim de obter uma maior diversidade de resultados experimentais. Deste modo, pretende-se que seja feita uma análise detalhada às características de estanquidade das torneiras, por forma a *standardizar* e, possivelmente, redefinir os parâmetros e padrões a utilizar nos testes de estanquidade realizados no fim da linha de produção e montagem.

Será impraticável, à partida, avaliar o retorno promovido pelo êxito deste estágio de forma a conseguir quantificá-lo, mas certamente que a importância e as repercussões que o mesmo poderá ter são diversas, tanto na redução de desperdício e sucata, como na requalificação de componentes e otimização dos tempos de ciclo. Todos estes fatores têm um impacto direto na faturação da empresa.

Tendo em conta que, atualmente, os métodos de verificação de estanquidade em vigor na GROHE se regem por normas internas e Europeias, não tendo sido feita até à data uma análise cuidada e detalhada acerca do impacto de diferentes pressões, temperaturas e tempos de teste em corpos de torneiras, de materiais distintos e com diferentes volumetrias, parte-se do pressuposto que existe uma grande margem de melhoria de otimização.

#### 1.2 Problema e motivação

No presente, os testes de estanquidade realizam-se com ar e não com água, contrariamente ao que se poderia apontar como meio de teste ideal, visto que as torneiras são projetadas para operar com água no seu interior. Assim sendo, existem dúvidas quanto à reprovação de torneiras devido a "fugas" nos testes de ar, e se as mesmas representariam, na prática, fugas reais, ou se acabariam por nunca serem detetadas pelo cliente final, não comprometendo de qualquer forma a qualidade e funcionalidade do produto. A importância da validação e parametrização dos testes de estanquidade prende-se essencialmente com esta questão, pois atualmente a GROHE tem custos substanciais com a requalificação e reciclagem de corpos considerados defeituosos em testes de fuga.

Com a consolidação do conhecimento teórico adquirido, e com base num *know-how* extenso de metodologias e valores mais corretos praticados a um nível global, deve proceder-se à interpretação e validação dos resultados obtidos experimentalmente. Idealmente, tendo sido detetadas possíveis ações de melhoria, procurar uniformizar o método de verificação de estanquidade à generalidade das torneiras GROHE, incutindo as "boas práticas" preferenciais a adotar na unidade fabril de Albergaria e possivelmente, em todo o universo de empresas GROHE.

#### 1.3 GROHE

GROHE AG é uma empresa dedicada ao fabrico de componentes e utensílios sanitários, sedeada em Düsseldorf, na Alemanha, e com cerca de 6000 colaboradores. O grupo apresenta lucros anuais na ordem dos 1.3 mil milhões de euros. Só a GROHE Albergaria conta com cerca de 900 colaborados, e em 2016 teve uma faturação anual a rondar os 130 milhões de euros.

A empresa surgiu em 1911 como uma fábrica de *hardware*, com o nome de Berkenhoff e Paschedag. Mais tarde, em 1936, foi comprada por Friedrich Grohe, que logo desde início apostou no fabrico de componentes sanitários. Apenas em 1948 a empresa mudou de nome, passando a chamar-se Friedrich Grohe Armaturenfabrik.

Já na década de 90, mais concretamente em 1991, a empresa adquiriu outros dois produtores de torneiras, Herzberger & ArmaturenGmbH e Eichelberg & Co. GmbH. Em 1994 comprou o grupo DAL. Mais tarde, em 1996, o grupo expandiu-se para Portugal e Tailândia, com a abertura de duas novas unidades fabris.

Recentemente, em 2014, o grupo Japonês LIXIL comprou a GROHE AG. Este grupo é internacionalmente conhecido e reconhecido como o líder global na indústria sanitária, assim como líder no fornecimento de material de construção à habitação no Japão.



Figura 1.1: Logótipo e Slogan da LIXIL, consultado em [1].

Atualmente, o grupo GROHE é constituído por cinco unidades fabris: três na Alemanha, uma em Portugal, e uma na Tailândia. É considerado mundialmente como o grupo líder no fornecimento e produção de acessórios sanitários, e como uma das empresas com maior reputação no fabrico de produtos inovadores de aplicação sanitária.

A GROHE tem como slogan *Pure Freude an Wasser* que, traduzido para Português significa algo como: Verdadeiro Prazer da Água[2, 3].



Figura 1.2: Logo e *Slogan* GROHE, consultado em [4].

### 1.4 Estrutura do Relatório

O presente relatório tem a seguinte estrutura:

- **Capítulo 1** "Introdução" Este capítulo contextualiza a relevância, objetivos e motivação para a realização do presente Estágio. Faz também uma primeira abordagem, muito breve, do grupo GROHE.
- **Capítulo 2** "Definição de Fuga" Neste capítulo está presente uma definição simples e pouco exaustiva do que é uma fuga, assim como algumas características e métodos de análise. Também se abordam certos procedimentos da GROHE relativos a métodos de deteção e caracterização de fugas.
- **Capítulo 3** "GROHE" Descrição abrangente dos processos de fabrico das torneiras, desde a fundição ao embalamento.
- **Capítulo 4** "Produtos a analisar" Todos os produtos analisados (torneiras) encontram-se detalhadamente descritos neste capítulo.
- **Capítulo 5** "Formulações e conceitos chave no domínio da deteção de fugas" Nestes capítulo é feita uma análise aos modelos físicos para a quantificação de fugas, alguns parâmetros mais relevantes de diferentes modelos e respetivos resultados.
- **Capítulo 6** "Métodos de teste e deteção de fugas, e respetivas vantagens e desvantagens" - Vários dos métodos existentes no mercado são abordados neste capítulo, assim como um enquadramento histórico dos mesmos e respetivas vantagens e desvantagens.
- **Capítulo 7** "Diagnóstico, e propostas de melhoria" A conjugação do conhecimentos adquirido ao longo do trabalho de estágio, assim como a descrição de todo o trabalho realizado e os problemas detetados, conduziram a propostas de melhoria, que são descritas neste capítulo.
- **Capítulo 8** "Conclusões" As conclusões do trabalho desenvolvido estão resumidas neste capítulo. Este inclui também algumas propostas de desenvolvimentos futuros.

# Capítulo 2 Definição de fuga

#### 2.1 Definição geral de fuga

Uma fuga, embora se apresente como um conceito de fácil interpretação e compreensão, é um termo que, por vezes, é de difícil caracterização e, acima de tudo, quantificação. Uma fuga pode ser descrita simplesmente como uma "abertura" numa parede, ou barreira de separação, que pode ser indesejadamente atravessada por sólidos, líquidos, ou gases [5]. No entanto, é um conceito bastante relativo. Na realidade uma fuga corresponde, a um fluxo de matéria que, ao percorrer um determinado volume de controlo, apresenta valores de permeabilidade superiores aos limites permitidos para um determinado intervalo de tempo [6]. A dúvida existente firma-se nestes mesmos intervalos e limites a estabelecer.



Figura 2.1: Passagem de fluxo de um fluido por uma falha, consultada em [7].

Primeiramente, será importante compreender que é impossível a fabricação de qualquer tipo de material totalmente hermético, e a estanquidade absoluta é apenas um conceito teórico. Uma fuga pode corresponder a algumas moléculas de hidrogénio ao ano, até vários litros de água por minuto [8]. Tendo em conta que é impossível obter um *leak rate*, ou taxa de fuga, nula para um dado invólucro ou recipiente, é praticável, sim, determinar uma *leak rate* abaixo de um certo valor padrão estabelecido [9].

Mesmo no caso de uma das indústrias mais exigentes da atualidade, como é o caso da exploração espacial, é expectável a existência de fugas nos seus sistemas. Assim sendo, é imprescindível uma atuação constante na deteção, quantificação e controlo de fugas, de modo a não prejudicar a estabilidade e segurança de todo o conjunto circundante. Por exemplo, componentes eletrónicos podem falhar quando água ou vapor entra num dado compartimento supostamente hermético, assim como caso exista alguma anomalia no abastecimento de líquido de propulsão num motor a jato e o mesmo entre em contacto com os restantes componentes do motor.

É difícil prever com exatidão as condições nas quais uma dada falha possa ocorrer, mas, em todo o caso, é sempre possível atribuir uma *leak rate* admissível para um dado componente, calculada em termos de esperança média de vida, que é requerida que um determinado componente cumpra para uma dada utilização. Se a falha resultar de um aumento de pressão, a máxima pressão admissível, e o tempo médio de vida de um componente, conjugado com o volume do componente, permitem avaliar a *leak rate* admissível [10].

Posto isto, para que um peça não apresente uma fuga, implicará não verter uma quantidade inaceitável do fluido (água, vapor, óleo, sangue, combustível, medicamento, etc.) para que foi projetada de modo a retê-lo, em condições estáticas ou de funcionamento [11].

Embora a aspiração seja produzir um determinado produto que simplesmente não tenha fugas, a especificação de "sem fugas" não estabelece qualquer tolerância ao fabrico e teste de componentes de forma a determinar a sua funcionalidade. Portanto, para a medição e quantificação de fugas, existirá sempre a necessidade de haver um toleranciamento dimensional bem definido.

Assim sendo, existem diferentes valores de *leak rate* (taxa de fuga) relativos à exigência em que um determinado produto ou indústria estará inserido, e para as funções que terá de cumprir, sem pôr em risco o correto funcionamento de um dado equipamento, não comprometendo deste modo o bom desempenho e, acima de tudo, as condições de segurança. Investigadores, técnicos, cientistas e fabricantes, cujo trabalho inclui elementos e produtos "totalmente" herméticos, têm de estar inteiramente familiarizados com as técnicas e tecnologias de localização, deteção e medição de fugas atualmente existentes no mercado [12].

Devido à crescente competitividade e exigência dos mercados, têm sido feitos vários esforços conjuntos por organizações, empresas e universidades, de forma a melhorar os métodos de interpretação (deteção, quantificação e controlo) de fugas. Só assim se consegue globalizar estas tecnologias, de forma a garantir a segurança de uma maior maior variedade de produtos, de forma mais sistemática, com uma melhor eficácia, e a um custo mais reduzido.

#### Diferentes tipos de fugas e respetivas origens

Uma fuga não detetada na fase de produção ou montagem de um dado produto pode dar origem a uma variedade incontável de problemas, podendo mesmo conduzir à falência de sistemas mecânicos, ou outros, que em últimas instâncias, podem implicar a perda de vidas humanas. Assim sendo, será importante ter especial cuidado na análise de fugas, tendo sempre em conta que podem ter origem num vasto leque de defeitos ou imperfeições. No caso dos produtos que se inserem no âmbito deste estágio (torneiras), uma fuga pode resultar num vazamento indevido de água que, por sua vez, poderá acarretar uma série de consequências, como prejuízo em água perdida, incómodo na sua utilização, danificação e degradação prolongada de um dado equipamento ou materiais em contacto com a água, resultante da fuga.

Uma fuga corresponde a uma estrutura com uma certa geometria que, tal como foi referido anteriormente, permite a passagem de líquidos ou gases a partir de um dado corpo. Pode dever-se a um simples furo, a um pequeno poro ou a uma fuga, de geometria mais complexa e difícil de detetar, de perfil irregular.

Alguns dos tipos de fugas mais comuns, e respetivas origens, podem ser distinguidas como:

- Fugas em elementos de conexão Flanges, superfícies de contacto, tubos flexíveis e conectores rápidos;
- Fugas em conexões permanentes Soldaduras e juntas de união;
- Fuga capilar e de perfil simples Corresponde à grande maioria das fugas;
- Fugas devido a poros Originadas muitas vezes por deformação mecânica ou por processamento térmico, como no caso de injeção de moldes ou fundição. Este é um tipo de fuga bastante recorrente na empresa GROHE;
- Fugas térmicas Devidas à contração ou expansão de material, resultado de elevadas variações de temperatura;
- Fugas indiretas Fugas originadas pelo abastecimento deficiente de ar ou água, não sendo relacionadas diretamente com a peça ou aparelho de teste;
- Fugas em "série" Todos os elementos de ligação, como conexões ou tubos flexíveis, têm uma fuga associada. Embora possam individualmente ser desprezadas, ao agrupar vários destes elementos em série num só circuito o somatório de todas as "fugas" individuais poderá resultar numa perda de pressão significativa, traduzindo-se deste modo numa fuga em série;
- Fugas de "um sentido" Embora seja algo bastante incomum, existem fugas que apenas se manifestam à passagem de fluxo num dado sentido;
- Fugas por permeação Tipo de fuga bastante recorrente, principalmente de gases, em que com o tempo começa a desenvolver-se uma permeação natural nos materiais vedantes, nomeadamente borrachas;
- Virtual leaks Corresponde a um erro na leitura de fugas por métodos de vácuo.

Segue-se uma análise mais detalhada a alguns dos tipos de fugas mais comuns e preponderantes, nomeadamente na fabricação de torneiras da unidade fabril da GROHE em Albergaria. A Figura 2.2 representa ilustrativamente algumas destas fugas.



Figura 2.2: Tipos de fugas, consultada em [13].

Uma fuga com uma forma mais irregular (*stringer leak*) apresenta uma dificuldade substancialmente acrescida à sua detecção. Neste tipo de fugas, cuja deteção é maioritariamente praticável apenas pelos métodos mais avançados do mercado, o fluido de detecção tem um tempo de manifestação muito superior comparativamente a uma fuga de perfil mais simples. Isto deve-se ao facto de o fluido operante encontrar uma maior dificuldade à sua passagem, através de canais estreitos ou capilares até sair dos corpos em análise [13].

O fluxo de fluido através de um canal capilar pode ser dividido em três tipos: molecular, viscoso e transitório. O fluxo molecular ocorre quando o livre percurso médio é superior à dimensão característica do canal de fuga. Quer-se com isto dizer que o fluxo é inteiramente influenciado pela velocidade das partículas elementares do fluido.



Figura 2.3: Regime molecular, consultada em [14].

Um fluxo viscoso ocorre quando o livre percurso médio é menor que a dimensão característica do canal de fuga, sendo o fluxo do fluido dominado pela sua viscosidade do mesmo. Em contrapartida, o fluxo transitório é a combinação de ambos os fluxos, molecular e viscoso [15].

Existe uma enorme variedade de fugas e possíveis causas para a sua existência/manifestação. As fugas podem ter as mais diversas origens, e mesmo com o auxílio dos métodos de deteção de fugas atuais é, por vezes, extremamente difícil a sua localização. A sua origem pode dever-se a um acoplamento geometricamente mal dimensionado/produzido, e que poderá conduzir à passagem de fluxo pelo recipiente que protege o interior de um dado produto. Com a utilização, exposição ao meio ambiente, ou a condições superiores de stress, o tempo de vida de uma peça pode ser largamente encurtado, conduzindo a que elementos vedantes possam ressequir e perder as suas propriedades de elasticidade e estanquidade. Fugas em produtos novos devem-se especialmente a elementos de junta, ou vedantes. Por vezes, simples elementos como o'rings e outros vedantes, tais como métodos de soldaduras que, em alguns casos, pela união feita em elementos distintos, como plástico-metal, cerâmico-metal, vidro-metal, não asseguram um devida união e, consequentemente, vedação [12].

A título exemplificativo, de forma a demonstrar a abrangência de causas e a complexidade que pode estar inerente à deteção de uma pequena fuga, mesmo numa das tecnologias mais versáteis e que oferece uma maior capacidade de deteção de fugas, a tecnologia de vácuo (abordada no Capítulo 6), uma rosca de um simples parafuso poderá constituir um sério desafio à medição de fugas. A partir de uma análise da Figura 2.4 é possível perceber como a rosca de um parafuso poderá resultar na origem de uma *virtual leak*, alojando algum ar entre os filetes da rosca de um parafuso, dando falsas leituras ao aparelho de medição [16].



Figura 2.4: Virtual Leak com origem numa rosca de parafuso, consultada em [16].

### 2.2 Avaliação e quantificação de fugas

Detetar uma fuga, principalmente num meio industrial, como numa linha de montagem, ou produção, apresenta-se por vezes como um verdadeiro desafio de engenharia. Ao ser realizado, o teste de fuga tem de ser preciso, com pouca margem de erro, prático e rápido, de forma a poder ser executado de forma legível, e com baixo impacto nos tempos de produção.



Figura 2.5: Fuga num elemento de conexão permanente (soldadura), consultada em [17].

Estabelecer um método de teste, assim como os seus parâmetros, é fundamental para assegurar que a sua viabilidade e otimização. Primeiramente, há que reconhecer a importância e a necessidade de investir tempo e recursos na averiguação de quais os métodos de deteção de fugas que poderão ser mais viáveis para a indústria e produtos em causa, e se existe de facto, uma real necessidade para aquisição destes equipamentos. Dada a vasta variedade e complexidade de alguns destes métodos de teste, os mesmos são abordados no Capítulo 6, onde é feita uma análise detalhada às particularidades de cada uma das diferentes metodologias e respetivas vantagens/desvantagens.

Embora exista uma ampla diversidade de métodos, e muitos deles com características bastante distintas, praticamente todos avaliam e quantificam uma fuga medindo a quantidade de matéria, como ar, água, hélio, entre outros, que abandona, ou entra num determinado volume de controlo num dado período de tempo. Para tal, foi introduzido o conceito de *leak rate*, geralmente descrito pela simbologia de qL, expresso em mbarL/s, ou vulgarmente como cc/min [5].

O objetivo de estabelecer uma especificação de *leak rate* prende-se com o facto de haver a necessidade de definir a tolerância máxima que um certo componente, ou peça consegue tolerar, mantendo os requisitos e expectativas do cliente, não vertendo material suficiente, capaz de causar a falência do sistema durante a sua vida útil [10]. A finalidade é testar peças com ar, ou com outros fluidos que primem por tenham um baixo custo e garantam testes seguros, e preferencialmente com uma menor em comparação com a qual o produto foi projectado para operar. Garantidos estes parâmetros, assegura-se assim um teste de fugas mais rápido, fácil e económico [11].

A partir da manipulação da equação dos gases perfeitos é possível obter uma equação que relaciona um diferencial de pressão sobre diferencial de tempo, em função de um dado *leak rate* sobre um volume de teste. A Equação 2.1 descreve justamente esta dependência de valores, como

$$\frac{\Delta P[Pa]}{\Delta t[s]} = \frac{QL[\frac{cc}{min}]}{Vtest[cc]} \times \frac{100000[Pa]}{60[\frac{s}{min}]}$$
(2.1)

A incorporação da formulação acima transcrita apresenta diversas vantagens para o âmbito deste trabalho, desenvolvido num ambiente tão prático como é o ambiente fabril. Além de todos os valores poderem ser facilmente e diretamente obtidos com o recurso a instrumentação e equipamento disponível na fábrica da GROHE, todas as variáveis integram uma série de *GSO*'s e outras normas segundo as quais a empresa opera atualmente, o que possibilita uma comparação de resultados muito mais imediata e de fácil compreensão. Importante de salientar o facto de existirem algumas inexatidões associadas a esta formulação, muito devido ao facto de ser obtida a partir de um modelo essencialmente teórico, em condições *standard* de temperatura ambiente e pressão atmosférica. A Equação 2.1 encontra-se detalhada no Capítulo 5.

João Alexandre Ramos Pereira

# Capítulo 3 GROHE Albergaria

Em qualquer empresa é essencial uma boa relação e comunicação entre diferentes departamentos. Para tal, todos os colaboradores têm de estar munidos de ferramentas essenciais (como conhecimento em utilização de *software* corporativo *SAP ERP*), formação profissionalizada e um objetivo comum: melhoria continua de forma a promover o alcance por parte da empresa de metas de segurança, produção e qualidade, atualmente exigidas

A GROHE Portugal, à semelhança das restantes empresas do grupo GROHE, é composta por uma série de departamentos que têm como função o auxílio à produção. A Figura 3.1 ilustra quais os departamentos existentes na unidade fabril de Albergaria.



Figura 3.1: Departamentos da GROHE.

## 3.1 Processo produtivo que compõe a unidade de Albergaria (GROHE Portugal)

No esquema abaixo é possível observar quais as etapas e processos mais relevantes na produção de uma torneira, desde a aquisição da matéria prima até ao produto final.



Figura 3.2: Operações de Produção da GROHE Albergaria.

Nos subcapítulos subsequentes encontra-se simplificadamente explicado o processo de produção de uma torneira (de corpo em latão), desde a aquisição da matéria prima até à montagem e embalamento.

## 3.2 Fundição

No departamento de fundição e macharia encontram-se dois processos fundamentais para o início da produção das torneiras de latão: construção de machos e fundição. Corpos de outras ligas, como Zamac, não são produzidos pela GROHE Albergaria, mas sim por outras fábrica do grupo, ou subcontratados.

Os machos correspondem a peças em areia, usadas para a criação do interior das torneiras, assim como furos e cavidades (canais de água). São compostos por uma mistura de areia e aglomerado de resinas que, após uma combinação devidamente ponderada, são inseridos num molde com a forma pretendida. Já no interior do molde faz-se o "cozimento" do macho, que por acção de um catalisador, que acelera o processo diminuindo significativamente o tempo de ciclo. Na Figura 3.3 é possível observar um macho de areia na sua fase final.



Figura 3.3: Macho em areia.

Na Figura 3.4 é possível observar a máquina responsável pela produção dos machos de areia.



Figura 3.4: Máquina de produção de machos de areia.

Em paralelo, no setor de fusão central, ocorre a fusão de diversas ligas metálicas. De forma a garantir os níveis de rigor e qualidade exigidos pela GROHE, a mistura de ligas é controlada em laboratório, sendo que depende dos resultados destas análises a prossecução do processo de fundição.

Tendo sido validadas as amostras, um empilhador faz o transporte do metal, a elevadas temperaturas de forma a manter o seu estado líquido, até às máquinas de fundição existentes.

Sucessivamente, na máquina de fundição, um operador coloca os machos nas coquilhas de um molde e faz o acionamento do início do processo de vazamento para produção por fundição. Existem máquinas com dois métodos distintos de fabrico de torneiras por fundição:

- Fundição por gravidade (processo descendente);
- Fundição a baixa pressão (processo ascendente), que pode ser visualizada na Figura 3.5.



Figura 3.5: Maquina fundição a baixa pressão.

Após o processo de fundição, os corpos das torneiras, já solidificados, são separados do alimentador e cortados os excessos de material. O material restante é reaproveitado sendo posteriormente fundido.

Antes dos corpos estarem prontos para serem recebidos no departamento seguinte é necessária a remoção do excedente de areia que possa ter ficado alojado no interior do corpo. Para tal, recorre-se a um tambor vibratório.

No caso de ser identificado qualquer defeito, como porosidades, rechupes, entre outros, os corpos são considerados sucata e fundidos de forma a haver um reaproveitamento de matéria prima, dado origem a um novo corpo de torneira.

### 3.3 Maquinação

Após o processo de fundição os corpos seguem para o departamento de maquinação. De forma a conferir algumas funcionalidades às torneiras, impensáveis de adquirir no processo de fundição, são efetuados furos, roscas e algumas alterações de forma. Com recurso a máquinas de comando numérico computorizado, mais conhecidas como CNC's estas funções são feitas com a melhor precisão e velocidade possíveis garantindo um elevado grau de uniformidade entre todas as torneias.



Figura 3.6: Máquina de comando numérico (CNC).

Após a peça ser maquinada, devido à gordura e óleos usados nas máquinas de comando numérico computadorizado, a torneira é sujeita a uma lavagem assim como a uma série de processos de aferição e controlo de qualidade. Este controlo é feito visualmente por operadores, seguindo-se um teste de fugas. É nesta fase que é feito um primeiro teste com o fim de aferir a existência de algum defeito nos corpos, que origine fugas nos canais interiores do corpo (canal de água quente; canal de água fria; canal de mistura). Na Figura 3.7 é possível observar uma bancada de teste de fugas, onde um ecrã mostra, em tempo real, os canais em teste no momento, assim como os que apresentem alguma irregularidade.


Figura 3.7: Teste de fugas no departamento de maquinação.

Caso seja detetada alguma irregularidade, as peças são novamente reencaminhadas para o departamento de fundição.

Na Figura 3.8 apresenta-se um conjunto de corpos já maquinados, prontos para passarem ao processo seguinte, lixamento e polimento.



Figura 3.8: Corpo de torneira maquinado.

#### 3.4 Lixamento e polimento

No seguimento do processo de maquinação procede-se ao lixamento e polimento. Neste departamento, tal como o nome indica, faz-se o lixamento e polimento dos corpos das torneiras. Este processo é fundamental para conferir o acabamento *premium* pelo qual a GROHE é internacionalmente reconhecida, tornando o aspeto de todos os seus produtos muito mais apelativo e com uma melhor experiência de manuseio para o cliente.

Para além dos fatores anteriormente mencionados, de forma a garantir que, no processo seguinte, fase de galvanoplastia (cromagem), o banho químico a que as torneiras são submetidas adira devidamente sem comprometer a aparência da torneira ao longo da sua utilização, é também fundamental que o acabamento final cumpra uma série de requisitos previamente estabelecidos. Para tal é necessário que exista um rigoroso controlo de qualidade de acabamento no fim desta fase de produção.

A primeira fase de lixamento é feita por robôs, conforme é possível observar na



Figura 3.9. Devido às dimensões e complexidade de algumas peças, uma segunda etapa de lixamento é feita manualmente por operadores qualificados.

Figura 3.9: Robô de lixamento.

Após a fase de lixamento, segue-se o polimento que atribui, por fim, uma superfície suave e lisa às torneiras. Este procedimento é feito numa máquina rotativa de polimento, que submete a superfície da torneira a um lixamento por parte das rodas de polimentos de diferentes granulometrias, com a adição de uma pasta de polimento. Devido à geometria e inacessibilidade de algumas torneiras, à semelhança do processo de lixamento, é imprescindível que algum deste polimento seja feito manualmente. Nas Figuras 3.10 e 3.11 é possível observar os equipamentos responsáveis por este processo de polimento.



Figura 3.10: Polimento manual.



Figura 3.11: Polimento automático.

Por fim, os corpos são submetidos a um processo de lavagem e desengordurante.

Simultaneamente, no fim, como após cada etapa deste processo, caso seja detetada alguma imperfeição no corpo da torneira, cabe aos operadores tomar as devidas providências para o corrigir. Caso não o seja possível fazer, a peça deverá regressar à fundição para ser fundida e reutilizar a matéria prima para fundir novos corpos.



Figura 3.12: Corpo no fim do processo de lixamento e polimento.

#### 3.5 Galvânica

Este departamento é responsável por atribuir o aspeto final, cromado e brilhante, característico das torneiras GROHE. Embora a maioria dos produtos produzidos pela GROHE tenham este aspeto cromado como acabamento final, por requisito do mercado existe, uma série de outros produtos com um acabamento diferente, obtido por processos de PVD e Brushing, que são explicados mais abaixo.

Os corpos, após o processo de polimento, dão entrada no departamento de galvânica acondicionados num suporte metálico, conforme mostrado na Figura 3.13.



Figura 3.13: Suspensões de torneiras para processo de galvânica.

O uso destas suspensões permite que as torneiras sejam rapidamente colocadas num elevador que as eleva para o andar superior, onde uma máquina submete os corpos a diversos banhos químicos. Para além disso, a própria geometria dos suportes foi concebida para otimizar o escorrimento e secagem dos mesmos após as diversas lavagens a que são sujeitos.



Figura 3.14: Elevador de banhos químicos.

O primeiro banho ao qual os corpos são submetidos tem como objetivo lavar e desengordurar a superfície das peças. Garante-se, deste modo, que a deposição química dos processos procedentes possa ser feita com o máximo de fiabilidade e segurança possível. Posto isto, seguem-se os tratamentos de níquel e crómio, de forma a aumentar o tempo médio de vida da torneira e a melhorar a sua resistência à corrosão. Um aspeto brilhante é alcançado com estes banhos.

Por fim, após a fase de banhos ser dada como concluída, o suporte desce por um elevador. Posteriormente, os suportes são retirados por um operador, seguindo-se uma inspeção visual à qualidade e acabamento dos corpos.

No caso de ser detetada alguma imperfeição, ou incorreção, os corpos defeituosos são enviados para *rework*. O *rework* começa pelo envio dos corpos para a descromagem que se situa também no departamento, anexo à linha de cromagem, onde os mesmos são imersos num banho de soda cáustica que remove a camada de crómio, seguido de um banho em ácido sulfúrico que retira a camada de níquel.



Figura 3.15: Suporte com peças descromadas e posteriormente polidas/lixadas.

#### PVD e Brushing

Uma camada *PVD*, ou uma camada de *deposição física de vapor*, define uma variada quantidade de métodos distintos, como a vaporização de materiais específicos através de um processo de vácuo de alta tecnologia, em que o material vaporizado é depositado numa fina camada na superfície dos objetos alvo. Um gás reativo, como oxigénio, nitrogénio, ou à base de hidrocarbonetos, ao ser introduzido num "vapor metálico" cria um revestimento de nitreto, óxido, ou hidrocarboneto à medida que o fluxo de vapor metálico reage quimicamente com os gases. Este revestimento é feito em câmaras especializadas, de forma a que a atmosfera seja o mais controlada possível, limitando ao máximo possíveis contaminações que este processo pudesse criar [18]. O uso desta tecnologia pode conferir diversas qualidades e funcionalidades aos componentes:

- Características funcionais;
- Propriedades decorativas;
- Qualidades protetoras (Ex: anti-corrosivas).

No contexto da GROHE, esta tecnologia é utilizada principalmente como forma de atribuir às suas torneiras uma aparência mais atrativa aos olhos do consumidor, apostando num design mais alternativo e arrojado. Optou-se por referenciar este subcapítulo com o número 3.5 pois, embora seja um processo que não se aplique a todas as torneiras produzidas pela GROHE Portugal, vem imediatamente após o processo de galvânica e antes da montagem. Dada a capacidade atual e o número de câmaras de PVD existentes na unidade fabril de Albergaria, vários corpos e componentes produzidos por outras fábricas do grupo são enviados para Portugal para realizar os tratamentos de deposição física de vapor.

Na Figura 3.16 é possível observar o departamento de PVD na GROHE Albergaria.



Figura 3.16: Departamento de PVD da GROHE Albergaria.

O *brushing*, ou em português, o escovado, é um pequeno departamento responsável por conferir propositadamente um "riscado" às torneiras. Esta escovagem é feita por um processo de lixamento manual.



Figura 3.17: Torneiras após PVD (esquerda) e após PVD + Brushing (direita).

#### 3.6 Montagem

Por fim, segue-se o departamento de montagem. É neste departamento que todos os produtos, cujos corpos são produzidos internamente, ou adquiridos a outras fábricas, são montados e testados (após a respetiva montagem). Além disso, também é feita a gravação a laser do logótipo da GROHE e outras impressões, tais como o sentido de circulação da água quente, água fria e do controlo de caudal. A Figura 3.18 mostra um conjunto de corpos de torneira, já cromados, prontos para serem montados e acoplados aos restantes componentes da torneira.



Figura 3.18: Corpos de torneira prontos para montagem.

De forma a otimizar e facilitar a montagem das torneiras de todos os streams, usam-se ferramentas personalizadas em cada linha de montagem. Estes gabarits são desenhados e

produzidos na ferramentaria da fábrica, desenvolvidos em parceria com o departamento de engenharia, e de acordo com os requisitos de cada torneira. Na Figura 3.19 é possível observar uma bancada de montagem de uma dada torneira.



Figura 3.19: Bancada de montagem de torneiras.

É durante a montagem das torneiras que uma das etapas fundamentais, e de maior relevância, para o presente trabalho de estágio se processa, o *leak testing*. O teste de fugas corresponde a uma das fases essenciais e fundamentais na validação e controlo de qualidade de uma torneira. Com a exceção do teste visual, que avalia continuamente quaisquer imperfeições relativas ao aspeto físico da torneira, o teste de fugas dita se a torneira tem a qualidade e preenche os requisitos necessários para poder estar disponível no mercado. Tendo em conta que este teste está na base deste estágio, é um tema amplamente aprofundado e discutido em capítulos posteriores.

No caso da torneira preencher todos os requisitos necessários à sua validação após um teste de estanquidade, uma folha de gravação, conforme mostrado na Figura 3.20, faz uma gravação na superfície da torneira (numa localização previamente estabelecida) do seu código, contendo o país de fabrico marca entre, outros.



Figura 3.20: Folha de gravação e respetivo jig.

Após a marcação, a torneira é limpa, removendo quaisquer manchas e marcas que

possa conter, seguindo-se o seu embalamento. Todas as embalagens são concebidas de forma a restringir os movimentos e deslocações das torneiras, assim como dos restantes componentes (parafusos, instruções, entre outros) que a mesma contenha, garantindo o máximo aproveitamento de espaço e reduzir, deste modo, os custos de transporte e armazenamento. Nas Figuras 3.21 e 3.22, apresenta-se o processo de embalamento de uma torneira.



Figura 3.21: Torneira a ser embalada.



Figura 3.22: Torneiras já embaladas.

Importa salientar que, na montagem, todo o processo é feito manualmente, recorrendo apenas ao auxílio de alguns componentes mecânicos, como aparafusadoras pneumáticas e outros utensílios.

Não existem linhas específicas para a montagem de apenas um produto, mas sim linhas divididas por *streams* que se dedicam à montagem de torneiras para diferentes utilizações. Deste modo, todas as linhas e bancadas são modulares, podendo ser rapidamente adaptadas para modelos distintos. Relativamente aos testes de estanquidade, os afinadores, com auxílio de folhas de parâmetros, estabelecem para cada modelo de torneiras os parâmetros de teste previamente estabelecidos. Importante referir que não existe uma grande diversidade de parâmetros de teste entre corpos de diferentes geometrias e tamanhos, o que, no seguimento deste relatório, mais concretamente no Capítulo 6, se verifica como dos fatores cruciais, que resultam na inexatidão de muitos dos testes de estanquidade na GROHE.



Figura 3.23: Linhas de montagem de torneiras termostáticas.

#### 3.7 Definição, avaliação e quantificação de fugas segundo os procedimentos GROHE

As fugas, tanto de ar como de água, são uma realidade bem presente na produção de torneiras, nomeadamente para a empresa GROHE. Tal como é explicado no Subcapítulo 2.1, não há nada que consiga ser inteiramente estanque, ou seja, todas as torneiras montadas e produzidas na GROHE apresentam fugas, mesmo por mais pequenas que elas sejam.

A avaliação quanto à existência de fugas constitui uma etapa crucial na produção das torneiras pois, caso seja detetada uma fuga, e a mesma não se deva a uma colocação incorreta de componentes, a torneira é dada como defeituosa e não poderá continuar o seu ciclo de produção.

Por vezes, bastam simples correcções na torneira para corrigir a causa de uma fuga, como retirar limalhas provenientes da maquinação, ou mesmo areias que não foram devidamente removidas do interior dos corpos após o processo de fundição. Embora os operadores tenham formação e qualificação para executar estas simples correções de melhoria, recorrentemente dadas como suficientes para corrigir alguns defeitos pontuais nas torneiras, por vezes não são eficientes e, devido às suas irregularidades, acabam por reprovar. A reprovação traduz-se numa torneira não conforme, ou segundo as metodologias GROHE, a uma torneira "*NOK*". Todas as torneiras que não se encontram de acordo com os parâmetros de estanquidade, adquirem o número 80, como defeito por fuga, sendo os corpos posteriormente enviados para a sucata.



Figura 3.24: Torneiras com fuga (codificadas com o número 80).

Ao ser efetuado um registo, tanto informático como físico, dos corpos das torneiras com defeito, é possível detetar com mais facilidade alguma incoerência crónica, ou recorrente, com origem num dado processo na produção de um corpo de um certo modelo. Pode ser também detetada alguma inconformidade com as ferramentas de montagem, podem as mesmas estar indevidamente calibradas, se algumas peças provenientes de um dado fornecedor não estejam conformes, apresentando sistematicamente dimensões e especificações incorretas. Atualmente, todos os testes de estanquidade feitos às torneiras, tanto aos corpos no processo de maquinação, como às torneiras no processo de montagem final, são feitos com ar abastecido pela rede de ar comprimido instalada na fábrica. Esta metodologia de teste, com recurso a ar, nem sempre foi uma realidade na avaliação da estanquidade das torneiras produzidas pela GROHE. Tendo em conta que as torneiras são desenvolvidas para operar com água no seu interior, este seria à partida o meio de teste mais óbvio a adotar para averiguar, quaisquer que fossem as inconformidades que pudesse conduzir a uma possível fuga. Contudo, com o desenvolvimento dos métodos de teste, assim como o aumento das exigências de normas e mercados, houve a necessidade de evolução da metodologia de teste, garantindo um maior rigor e menos permissividade na validação. Conforme é explicado no Capítulo 2, o fluido de teste deve ter sempre um viscosidade inferior ao fluido final operante pois, caso o produto seja classificado como conforme, dificilmente apresentará quaisquer fugas, mesmo a longo prazo, após a sua instalação definitiva. [11]

Presentemente, a unidade fabril de Albergaria está equipada com diversos *leak testers*, munidos de diferentes sistemas de medição, absolutos e diferenciais. Todos estes sistemas são revistos no Capítulo 6 em mais detalhe.

Na Figura 3.25 é possível observar alguns exemplares dos modelos de *leak testers* diversas marcas de como *Ateq*, *Fortest* e *Ceta*, que a GROHE detém nas suas instalações.



Figura 3.25: Diferentes tipos de *leak testers* em utilização na GROHE Albergaria, adaptada de [19, 20, 21].

Apesar do elevado custo inerente à aquisição destes dispositivos, muito devido à elevada exatidão e tecnologia associada ao seu desenvolvimento, eles permitem, com relativa simplicidade, uma utilização bastante intuitiva e fácil, sem comprometer os resultados dos testes finais. Embora a sua calibração consiga ser feita com relativa facilidade, é necessário primeiramente que os parâmetros sejam os mais corretos e direcionados para a indústria e produtos em questão. A determinação destes parâmetros deverá ter por base uma vasta experimentação prática e conhecimento da área em que são usados.

### Capítulo 4

## Produtos a analisar

#### 4.1 Descrição e especificação dos produtos

Como referido no Capítulo 1, vários *streams* de torneiras são analisados no presente relatório. Optou-se, logo desde início, em fazer um estudo o mais abrangente possível, analisando o máximo de torneiras, com as mais distintas características, ou seja, com volumes internos bastante diversos e geometrias de canais. Só assim é possível garantir resultados genéricos, enquadrados em toda a gama de torneiras para o qual este estudo se foca, não invalidando a adaptação da metodologia proposta neste relatório a outras torneiras, mesmo às produzidas por outras unidades fabris do grupo.

Apesar de inicialmente o objetivo ser efetuar um estudo às características de apenas um restrito número de torneiras, de forma a melhorar os resultados experimentais, aumentando a robustez de todo o estudo, achou-se por bem fazer um esforço acrescido em testar não a totalidade, mas o máximo de torneiras possível. Com o auxílio de vários colaboradores, principalmente dos departamentos de manutenção e montagem, foi possível testar ao todo 24 torneiras, de todos os *streams*, produzidas e montadas na fábrica.

Nos subcapítulos seguintes é feita uma análise detalhada às características individuais de cada *stream* de torneiras, ou, referente a alguma particularidade de algum modelo.



Figura 4.1: Torneiras produzidas na GROHE Albergaria.



#### 4.1.1 Torneiras de Casa de Banho

Figura 4.2: Torneiras de Casa de Banho, consultada em [22].

No decorrer deste estágio são analisadas 8 torneiras de casa de banho para variadas utilizações, com incorporação em banheira, duche e lavatório.

A GROHE Albergaria tem cerca de 5 linhas, destinadas exclusivamente à montagem de torneiras de casa de banho, não havendo nenhuma linha com um modelo fixo, ou seja, há uma constante rotatividade de modelos a serem produzidos em cada linha de montagem, consoante a necessidade e procura de um dado modelo.

Os modelos de torneiras de casa de banho são aqueles que apresentam uma maior variedade e diferenças, tanto na forma dos corpos, como volumetrias. No conjunto de Figuras 4.3 é possível comprovar esse facto.



(a) Chuv. OHM Euphoria montado.



(c) Essence New OHM bath exp.



(e) Eurosmart 2015 monoc. banh. Monotrou F.



(g) Torneira Eurosmart Cosmopolitan mon.banh.Monotrou.



(b) Essence New mon.bacia lav. U-bica c.liso.



(d) Essence New OHM shower exp.



(f) Eurosmart Cosmopolitan mon. lav. b.alta.



(h) Torneira FEEL Monoc. banheira / duche.

Figura 4.3: Torneiras de banho testadas no decorrer do estágio.

#### 4.1.2 Torneiras de Cozinha



Figura 4.4: Torneiras de cozinha, consultada em [23].

À semelhança das torneiras de casa de banho, fez-se um estudo a 8 torneiras de cozinha, quanto a valores de volumetria, *leak rate* e parâmetros de teste.

A GROHE Albergaria tem no total 7 linhas de montagem de torneiras de cozinha, estando as mesmas divididas em linhas de montagem de "Cozinhas Altas´´ e "Cozinhas Baixas´´. Consoante a geometria da bica das torneiras, as mesmas são classificadas como altas ou baixas. Nas Figuras 4.6a) e 4.6e) é possível compreender a diferença entre os dois modelos. A Figura 4.6a) apresenta-se uma bica baixa, e na Figura 4.6e) uma torneira de cozinha de bica alta.

De uma forma geral, as torneiras de cozinha são aquelas que apresentam um menor volume de canais internos (de passagem de água). Isto deve-se ao facto de grande parte conter corpos de plástico no seu interior, sendo que as ligas de zamac e latão são apenas utilizadas por forma a conferir resistência, aspeto e manuseio mais apelativo.

Tal como é percetível na Figura 4.6, algumas Subfiguras não apresentam a carcaça de latão, como é o caso das Figuras 4.6b), 4.6f) e 4.6h). Isto deve-se ao facto de ambas as torneiras fazerem parte do conceito GROHE ZERO.

Inicialmente, a GROHE lançou uma tecnologia apelidada de GROHE ZERO, que se baseava numa liga de latão inovadora, que compunha tanto os corpos, como as bicas e outros componentes integrantes de uma torneira que estivessem em contacto com água. Esta liga continha cerca de 90% menos chumbo que uma liga de latão convencional [24] e era utilizada em torneiras em que existisse um maior "risco" de os seus utilizadores ingerirem água a partir delas. Tal como é globalmente conhecido, a ingestão de chumbo, assim como a sua exploração, representa um sério problema de saúde pública, assim como consideráveis riscos para a preservação do meio ambiente [25]. Atualmente, embora a GROHE ainda produza torneiras com esta liga de latão, avançou com um conceito de marketing GROHE ZERO relativamente diferente. A GROHE tem patenteado um conceito no qual toda a água a circular no interior das torneiras (torneiras de casa de banho e de cozinhas) nunca entra em contacto com qualquer liga metálica, apenas plástico. Desta forma é assegurado que estas torneiras são 100% Lead + Nickel Free(sem chumbo e sem níquel) [26].



Figura 4.5: GROHE zero, consultada em [26].



(a) BauEdge monoc. cozinha F.



(c) Start Flow monoc. cozinha C-bica EU.



(e) BauLoop OHM sink swivel spout.



(g) Eurosmart 2015 OHM sink high spout.



(b) clivia VIGOUR monoc. cozi-nha.



(d) Get monoc. cozinha bica alta chuv.ext.



(f) 2015 OHM sink low sp.ex.spray.



(h) Eurosmart 2015 OHM sink low spout.



#### 4.1.3 Torneiras Termostáticas



Figura 4.7: Torneira termostática, consultada em [26].

As torneiras termostáticas correspondem aos modelos mais complexos e com mais componentes, produzidas pela GROHE Albergaria. Tal como é possível observar na Figura 4.8, além de uma significativa quantidade de *o'rings* (não estão todos representados na figura), existe também uma elevada quantidade de componentes de metal e injeção plástica.

Mas a grande disparidade destas torneiras prevalece pelo uso de cartuchos termostáticos. Estes componentes, que não requerem qualquer electrónica para operar, fazem a regulação automática da temperatura de saída da água. O seu funcionamento automático deve-se a um cilindro de cobre com parafina, que reage à variação de temperatura, expandindo e contraindo, respetivamente, com o aumento e diminuição da temperatura. Primeiramente, durante a montagem destas torneiras, há a necessidade de calibrar devidamente o cartucho, de forma que a temperatura selecionada no manípulo corresponda aquela que se obterá após a mistura da água quente com a água fria. Mas a particularidade deste tipo de cartuchos assenta no facto de serem capazes de fazer uma regulação automática temperatura da água, mantendo uma temperatura de saída constante, independente da possibilidade dos caudais de água quente ou fria que poder subitamente variarem.

É essencial que estes dispositivos sejam devidamente certificados e testados, de forma a salvaguardar a existência de possíveis acidentes que uma falha destas válvulas possa originar.

Considera-se a situação em que existe um corte momentâneo no abastecimento de água quente ou fria na rede de abastecimento. Se o cartucho termostático não diminuir, ou mesmo impedir, o caudal de água disponível, poderá resultar num choque térmico, ou mesmo queimaduras para o utilizador.

Na próprias linhas de montagem da GROHE Albergaria, após o processo de deteção de fugas por *pressure decay*, faz-se um teste final ao desempenho do cartucho termostático, onde é avaliada a capacidade do mesmo auto regular e gerir o caudal de água quente e fria.



Figura 4.8: CAD de torneira termostática (Essence New OHM shower exp).



(a) GRT 1000 New THM bath exp1/2".



(c) GRT 1000 Cosmo M termostática duche par.



(e) GRT 800 THM shower exp1/2".



(g) GRT 800 term banh. 40mm sem rác SC.



(b) GRT 800 THM bath exp 1/2".



(d) Rainshower mont. cart. C3, maníp. plást.



(f) clivia VIGOUR termostática banh. parate.



(h) GRT 1000 New THM EN duche par 1/2"s/rác.

Figura 4.9: Torneiras termostáticas testadas no decorrer do estágio.

# 4.2 Principais problemas de fugas em produtos, assim como as suas consequências nos testes de fuga

Tem de haver um relação de cumprimento de qualidade entre a GROHE e os diversos fornecedores, ainda para mais tendo em conta que a GROHE conta com diversas parcerias comerciais, de vários países. Assim sendo, tem de ser assegurada uma constante qualidade, dimensões e requisitos dos produtos. Seria impossível analisar a qualidade e funcionalidade de todos os produtos individualmente, ou seja, torneira a torneira. Portanto, o definitivo teste de qualidade é feito diretamente na linha, na altura de acoplar os componentes e testá-los, nos testes de estanquidade.

O Subcapítulo 4.2 tem como objetivo abordar os problemas mais recorrentes na GROHE, com um impacto da validação de torneiras nos testes de estanquidade.

Ao longo dos 6 meses de duração do estágio curricular teve-se a oportunidade de contactar de perto com alguns destes problemas, acompanhando tanto a fase da sua deteção, como melhoria e, por fim, correção.

Seguem, portanto, alguns dos exemplos tipo com maior preponderância e mais frequentes de encontrar numas linhas de montagem.

#### 4.2.1 Rebarbas em ferramentas de maquinação

A formação de rebarbas nas ferramentas quando se dá a maquinação e processos de corte de corpos cria, por vezes, problemas. Uma dada rebarba, ao não se desprender da ferramenta, pode comprometer a qualidade da superfície, originando irregularidades ou uma superfície pouco homogénea no corpo intervencionado.

No caso da Figura 4.10, o defeito representado deveu-se a uma ferramenta que acumulou uma rebarba, e acabou por danificar a totalidade de um lote de corpos de torneiras termostáticas.



Figura 4.10: Defeito em corpo de torneira por problemas de maquinação.

Embora as fissuras fossem bastante pequenas, e à partida negligenciáveis como elemento chave na causa de uma reprovação num teste de fugas, o facto de a superfície de assentamento do *o'ring* não ser "perfeita" levava a que existisse uma passagem indevida de ar nesta zona, constituindo uma fuga no teste de *pressure decay*. Muito provavelmente nunca iria haver penetração de água por esta fissura (devido à sua mais elevada visco-sidade, conforme explicado no Capítulo 5), mas os critérios de qualidade da GROHE, assim como a formação e profissionalismo de todos os colaboradores, não permitiu validar todos os corpos afetados.

Isto levou a que, de modo a não comprometer a qualidade das torneias, assim como a não desperdiçar todo o lote produzido, cada torneira tivesse de ser individualmente intervencionada, por forma a assegurar a planicidade perfeita com o *o'ring* do cartucho que nela assenta.

As duas imagens de maior proximidade presentes na Figura 4.10 foram obtidas com um projetor de perfil, que permitiu ter uma visão mais ampliada e uma percepção mais realista da verdadeira dimensão do defeito.

#### 4.2.2 Fornecedores

Devido à clara dependência existente entre a GROHE e os seus fornecedores, dos mais variados setores, é fundamental que os mesmos consigam assegurar um nível de qualidade previamente estabelecido, com um mínimo de rejeições.

Nem sempre isto acontece, ou seja, por vezes muitas inconformidades nos produtos e componentes têm de ser identificadas diretamente na linha de montagem pela própria GROHE. Ao existir algum problema na fase de montagem e teste este, é relatado aos departamentos de engenharia e qualidade, que posteriormente tomam as devidas providências na identificação e descrição do problema. No caso de ser algo incomportável, ou inteiramente da responsabilidade do fornecedor, terá de ser feito um *rework* do componente.

No caso da Figura 4.11 é possível verificar que a linha de junta do molde responsável pela moldação deste componente plástico (responsável pelo acionamento de um cartucho do modelo de torneiras *Eurosmart*) ficou com um "ajustamento" indevido [27], resultando numa ligeira saliência na peça.



Figura 4.11: Inconformidade devida a linha de junta de molde.

A deteção deste defeito só foi possível após reprovação de várias torneiras nos testes de fuga *Fortest*, exigindo que uma fosse feita análise mais detalhada aos diversos componentes da torneira. Como ação de melhoria de primeiro nível, procedeu-se a um lixamento desta saliência até se conseguir um teste de fugas OK, validando desta forma a ação de melhoria, e poder fundamentar a reclamação diretamente ao fornecedor. O elemento moldante deste componente foi posteriormente reajustado e retificado, minimizando esta inconformidade.

A Figura 4.12 identifica uma fenda na parede de contacto com um *o'ring*, num dos componentes internos de um cartucho de uma torneira de casa de banho. A fuga resultante deste componente foi detetada num teste de fugas, na linha de montagem, tendo sido depois comprovado o defeito.



Figura 4.12: Componente de cartucho com defeito.

#### 4.2.3 Defeitos fundição

A fundição, conforme explicado no Subcapítulo 3.1, corresponde ao primeiro processo de fabrico de uma torneira. É um processo bastante complexo e com inúmeras variáveis, que podem criar um incontável número de defeitos e imperfeições em peças vazadas.



Figura 4.13: Corpo de torneira com rompimento numa secção de separação.

Na Figura 4.13, é possível verificar a existência de um rompimento numa base de assentamento de um cartucho no corpo de uma torneira termostática. Este facto deve-se essencialmente aos seguintes motivos:

- 1- Desenvolvimento de macho (3.2) com geometria muito restritiva (poupar em custos de matéria prima reduzindo o máximo de metal vazado por corpo de torneira);
- 2- Maquinação com remoção de metal em excesso;
- 3- Ambos os fatores, maquinação em excesso e geometria de macho com pouco metal.

No caso da Figura 4.13, o abatimento visível deveu-se ao caso número 3, mas com um incidência substancial no facto de o corpo ter logo durante a sua fundição pouco material na zona afetada. Como medida de correção, o macho teve de ser redesenhado, diminuindo o seu tamanho por forma a garantir uma espessura adequada nesta zona.

A temperatura de vazamento do latão está normalmente compreendida entre os 960°C e os 1050°C. No caso da temperatura ser muito elevada existe a possibilidade de haver o aparecimento de rechupes na zona mais maciça do fundido, assim como, no caso de a temperatura não ser suficientemente alta, uma solidificação prematura do corpo, não havendo o enchimento completo da moldação [28].

A contração volumétrica durante a solidificação e arrefecimento acarreta uma série de consequências, com um fundido com dimensões inferiores às da cavidade de moldação, aparecimento de cavidades internas, com/sem ligações ao exterior da peça, e a formação de fissuras em algumas zonas [29]. Estes defeitos têm origem em diferentes fases do processo de solidificação. A contração no estado sólido é responsável pelas dimensões finais das peças, podendo também ser causadora da criação de fissuras. Uma contração verificada na mudança de estado é responsável por defeitos de solidificação, ou cavidades com ligação ao exterior da peça, habitualmente designadas por rechupes.

Existe também outro defeito, que dá pelo nome de porosidades, que tem origem, usualmente, na libertação de gases existentes no metal, ou na presença de grãos de areia, escória e outras partículas [30].

A Figura 4.14 mostra alguns dos defeitos acima mencionados, os quais se teve oportunidade em detetar na GROHE Albergaria. Apresentam-se como defeitos muito recorrentes do processo de fundição, sendo detetados usualmente no fim do processo. É de destacar o preenchimento incompleto do corpo fundido, a existência de rechupes revelados pelo processo de maquinação, e por vezes, a deteção das porosidades, muito devido à sua dimensão reduzida, no fim da cromagem, ou da montagem, correspondendo a uma fuga no teste de estanquidade.



Figura 4.14: Rechupes, poros e enchimento incompleto.

A Figura 4.14 é composta por quatro imagens, cada uma apresentando um defeito diferente:

- 1 & 2- Rechupe;
- 3- Preenchimento não uniforme do corpo;
- 4- Porosos.

Em processos de fundição, devido às elevadas temperaturas e gradientes inerentes, no caso de zonas de elevadas temperaturas, o arrefecimento não uniforme pode dar origem a rechupes em algumas zonas e paredes das torneiras.

#### 4.2.4 Parâmetros maquinagem

A produção piloto de um dado produto, nomeadamente um corpo de uma torneira, acarreta uma série de parâmetros complexos com inúmeras variáveis. Conforme descrito no Subcapítulo 3.1, após o processo de fundição de um corpo em latão é necessário estabelecer os parâmetros de maquinagem. Muitas vezes, além do conhecimento com base na experiência de vários anos no ramo, é necessário aferir as melhor cotas, avanços de ferramenta e velocidade, muito na base da experimentação. Por vezes existem modelos de produtos que apenas ao fim de um certo número de exemplares produzidos, começam a desenvolver defeitos, resultando em possíveis fugas.

A Figura 4.15 ilustra isso mesmo.



Figura 4.15: Corpo com um avanço excessivo de ferramenta no processo de maquinagem.

No caso da Figura 4.15, o entalhe mostra o excesso tido que foi perfurado em demasia (cota exagerada), levando a que o *o'ring* não tivesse espaço para se alojar, acabando por ser cortado o mesmo. Este entalhe tem como função auxiliar à montagem de um cartucho termostático (mostra na Figura 4.16), guiando-o para a posição ideal de fixação.



Figura 4.16: O'ring de cartucho termostático cortado.

O facto de haver uma constante atualização e monitorização de peças rejeitadas levou a que se conseguisse identificar mais facilmente a causa deste defeito, que impossibilitava a validação das torneiras nos testes de estanquidade.

#### 4.2.5 Bancadas de teste

Por vezes as fugas detetadas nos aparelhos de medição de fugas devem-se não a defeitos nas próprias torneiras, não a parâmetros incorretos do aparelho de medida (um dos principais âmbitos deste trabalho e amplamente discutido no Capítulo 7), mas sim devido ao facto de a própria bancada e gabaritos de teste apresentarem certas inconformidades. Muitas destas bancadas modulares (são facilmente amovíveis, com a possibilidade de serem incorporadas em praticamente qualquer linha de montagem), e devido a uma utilização sucessiva ao longo de vários anos, com o ressequir de diversos vedantes e *o'rings* 

internos, assim como com o aparecimento de folgas na montagem dos vários componentes da bancada, não assegurando uma posição ideal de teste para as torneiras, acabam por comprometer alguns testes de estanquidade, criando, só por si, uma fuga interna suficiente para reprovar torneiras "sem qualquer fuga", ou com uma fuga aceitável.



Figura 4.17: Bancada de teste de estanquidade desajustada.

Na Figura 4.17, é possível visualizar uma fuga na zona de tamponamento do emulsor. Neste caso recorreu-se ao método de "bolhas com *spray* de espuma", abordado no Subcapítulo 6.2.1, para conseguir localizar a origem da saída do ar de teste.

Como correção deve-se alinhar novamente a torneira com o componente da bancada responsável pelo tamponamento, de modo a obter um paralelismo entre o emulsor e a borracha vedante (tampão). O facto de a borracha já se encontrar um pouco ressequida (como é percetível) agrava a situação, exigindo que o alinhamento seja praticamente perfeito em todos os componentes da bancada.

#### 4.2.6 Outros

No entanto, alguns dos defeitos referidos anteriormente podem ser camuflados, ou mesmo corrigidos, devido à impregnação de água em porosos, fendas, entre outros, resultando num produto conforme (sem fugas) ao fim de algum tempo de funcionamento. Isto deve-se ao facto da água da rede doméstica conter calcário, fomentando a precipitação de calcite, que acaba por preencher e compor alguma falta de metal, ou excesso de espaçamento entre alguns componentes, diminuindo, ou mesmo eliminando, uma possível fuga existente.

Algumas das torneiras devolvidas pelos clientes (por meio de reclamação por fuga), quando testadas no laboratório existente na fábrica de Albergaria acabam por ter fugas impercetíveis, devendo-se muitas das vezes ao facto de a mesma sido "preenchida" por calcário.

Durante a execução deste estágio curricular, várias das torneiras que eram recolhidas pela existência de fugas, ao fim de alguns dias de terem sidos testadas (com água e ar), não apresentavam quaisquer inconformidades, sendo dadas como OK. Mas salienta-se que este facto apenas se verificava com fugas relativamente pequenas, no limiar de serem inicialmente dadas como conformes, sem fugas.

De seguida, através de um exemplo, é mostrada a incoerência que por vezes é verificada nos testes de estanquidade. Nem sempre o aumento de pressão, em testes de fuga, é sinónimo de maior capacidade de deteção, com um subsequente aumento da taxa de fuga. Foi possível, no âmbito do presente estágio curricular, testar uma torneira devolvida por um cliente, rejeitada por aparentemente ter apresentado uma fuga claramente visível após a sua instalação. Conectou-se a torneira à rede hidráulica e, fazendo um teste de 16 *bar*, não foi possível detetar qualquer vazamento, ou fuga de água.

De forma a excluir todas as hipóteses antes de fazer o desacoplamento dos componentes da torneira, foi possível verificar que a mesma apenas apresentava uma fuga com água a uma pressão de 1 bar.

Tendo identificado a existência de uma real fuga na torneira, após o seu disassemble, foi possível verificar que o o'ring superior do inversor, conforme mostra a Figura 4.18, não estava na posição pretendida. Uma análise posterior identificou que a parede de latão interior da torneira, onde o o'ring do inversor faz contacto, estava ligeiramente mais fina que o suposto. O motivo da fuga não se revelar a altas pressões deve-se ao facto de, tendo o inversor alguns componentes de plástico, os mesmos se deformarem ligeiramente, criando o contacto necessário com as paredes de latão da torneira, impossibilitando a saída de água. A baixas pressões,tal não se verificava, havendo o escoamento de água para o exterior, entre o o'ring e o corpo de metal da torneira.



Figura 4.18: Fuga a 1 bar.

### Capítulo 5

# Formulações e conceitos chave no domínio da deteção de fugas

#### 5.1 Estabelecimento dos modelos físicos para a quantificação de fugas

A *leakage rate* é tipicamente correlacionada para condições *standard* de funcionamento, condições estas que se baseiam nos seguintes pressupostos [31]:

- Temperatura de 273.15 K (0 °C);
- Pressão absoluta de 10<sup>5</sup> Pa (100 kPa, 1 bar).

Como resultado, a *leak rate* é genericamente dada em centímetros cúbicos por minuto (cc/min), sendo que a sua determinação é geralmente baseada numa variação de pressão de um dado sistema de volume constante Assim sendo, todo o sistema responsável pela admissão de pressão (como linhas de ar comprimido) deverá ser cuidadosamente monitorizado, pois é nele que assentam muito dos resultados e rigor do teste.

Embora uma variação de pressão seja a medida chave para deteção e cálculo de uma fuga, existem outras propriedades físicas que podem influenciar a perceção de uma fuga num dado sistema. É importante realçar o impacto que a pressão ambiente, temperatura, volume, entre outros, podem ter na aquisição de dados, conduzindo a reprovação dos produtos em teste.

Várias alterações dos parâmetros de teste, por mais pequenas que sejam, podem originar mudanças drásticas no resultado final e, por vezes, camuflar a fuga existente.

A relação física entre temperatura e pressão é caracterizada por uma transformação isocórica, que ocorre a volume constante [32]. Isto deve-se ao facto de o volume em teste se manter constante durante todo o procedimento. Partindo deste pressuposto, e de forma a compreender todo o raciocínio envolvido na formulação que serve como base ao cálculo da *leak rate* usada neste trabalho, segue-se a dedução partindo da conhecida lei dos gases ideais [33].

$$PV = nR_uT \tag{5.1}$$

, onde P corresponde à pressão (absoluta), V ao volume, n ao número de moles de uma dada amostra de gás,  $R_u$  à constante universal dos gases perfeitos  $(R = 8, 314 \times \frac{kJ}{mol \cdot K})$ , eT à temperatura absoluta [34].

Sabe-se que

$$n = \frac{m}{M} \tag{5.2}$$

Posto isto, é possível passar à seguinte formulação.

$$PV = \frac{mR_uT}{M} \tag{5.3}$$

A constante particular de um gás R depende do gás em consideração, sendo obtida pela divisão da constante universal de gases  $R_u$  pela massa molar do gás em causa.

$$R = \frac{R_u}{M} \tag{5.4}$$

Deste modo, obtém-se a equação 5.5.

$$PV = mRT \tag{5.5}$$

É possível passar a uma segunda etapa e encontrar a fórmula final de *leak rate.* Com um rearranjo da equação 5.5 e derivando-a em ordem ao tempo, é possível obter as seguintes equações:

$$m = \frac{V}{RT} \cdot P \tag{5.6}$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{V}{RT} \cdot \frac{dP}{dt} \tag{5.7}$$

A massa específica, ou a densidade absoluta ( $\rho$ ) define-se como o quociente entre a massa e o volume desse corpo ( $\rho = \frac{m}{V}$ )[35]. Recorrendo às equações 5.6 e 5.7, é legítimo afirmar-se que:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho V)_{Patm} = \frac{dV}{dt} \times \rho_{Patm} = \rho_{Patm} \cdot (\dot{V}_{Patm})$$
(5.8)

Assim sendo, é plausível afirmar-se que:

$$\rho_{Patm} \cdot (\dot{V}_{Patm}) = \left(\frac{V}{RT}\right) \frac{dP}{dt}$$
(5.9)

onde  $\dot{V}$  é o caudal volúmico.

Organizando de uma forma mais explícita a equação anterior tem-se:

$$\dot{V}_{Patm} = \frac{V}{RT} \cdot \frac{1}{\rho_{Patm}} \cdot \frac{dP}{dt}$$
(5.10)

Assentando numa análise que, embora recorrendo a conceitos teóricos, se destina a uma utilização preponderantemente prática e com o intuito de, a partir dos resultados obtidos, introduzir sugestões de melhoria e metodologias a aplicar diretamente na linha de montagem da GROHE Albergaria, existem algumas variáveis naturalmente impossíveis de controlar, como é o caso da *densidade* e *viscosidade* às condições de temperatura ambiente. Desta forma, para uma análise mais direta e intuitiva, alguns ajustes simplificativos na equação 5.10 podem ser obtidos considerando a seguinte metodologia:

$$PV = mRT \to P = \rho RT \leftrightarrow P_{atm} = \rho_{Patm} \cdot RT \to \rho_{Patm} = \frac{P_{atm}}{RT}$$
(5.11)

Uma nova formulação surge pelo pressuposto anterior:

$$\dot{V}_{P_{atm}} = \frac{V}{\mathcal{RT} \times \frac{P_{atm}}{\mathcal{RT}}} \cdot \frac{dP}{dt} = \frac{V}{P_{atm}} \cdot \left(\frac{dP}{dt}\right) \leftrightarrow \dot{V}_{P_{atm}}^{perdido} = \frac{V}{P_{atm}} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t}$$
(5.12)

Ou seja, a partir da equação 5.12, tem-se a fórmula com as mesmas variáveis e expressa da mesma forma como alguns autores e publicações a apresentam [33, 36, 37, 38]. Esta equação conduz à forma aceite para a formulação "final" para o cálculo da *leak rate*:

$$\frac{\Delta P[Pa]}{\Delta t[s]} = \frac{QL[\frac{cc}{min}]}{V_{test}[cc]} \cdot \frac{P_{atm}[Pa]}{60[\frac{s}{min}]}$$
(5.13)

Na equação 5.13 é possível observar o valor de 60  $\frac{s}{min}$ , pois é necessário para fazer um acerto matemático, essencial para obter o valor final de *leak rate(QL)* em *cc/min*.



Figura 5.1: Variação de *leak rate* em função do volume de teste.

Considera-se o seguinte exemplo, para um corpo A e um corpo B. Sabe-se que o volume de A é o dobro do volume de B. Assumindo que ambos os corpos apresentam uma fuga com uma geometria igual, e o mesmo valor de  $\Delta p$ , é lógico que o corpo de maior volume (corpo A), necessite do dobro do tempo de medição ( $\Delta t$ ), de forma a que o teste de *leak rate* permita obter uma taxa de fuga igual para ambos os corpos. Se, for pretendido fazer as medições considerando os mesmos valores de  $\Delta P$  e  $\Delta t$ , isto

implicará que quanto maior o volume de um dado corpo maior será o *leak rate* do mesmo

 $\left(\frac{\overline{\Delta P}}{\Delta t}\right) = \frac{LeakRate\uparrow}{TestpartVolume\uparrow}.$ 

A Figura 5.1 pretende corroborar precisamente esta afirmação. Como é possível constatar, mantendo um valor de  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  fixo, e dado um aumento de volume (V1 < V2 < V3 < V4), obtém-se um valor de *leak rate* ( $\dot{V}_{Patm}$ ) superior para valores maiores.

Tal como é referido anteriormente, devido à simplicidade e objetividade da equação 5.13, que possibilita uma análise e obtenção de resultados quase imediata, grande parte dos ensaios práticos experimentais realizados no âmbito do presente estágio, detalhados no capítulo 7, assentam nesta formulação.

#### 5.2 Identificação dos parâmetros mais relevantes para as fugas

Várias são as variáveis e parâmetros que influenciam, tanto a aplicabilidade de equações "teóricas" como os resultados com elas obtidos. É conveniente ter especial atenção se o meio no qual as mesmas estão a ser aplicadas oferece as condições mínimas necessárias para que não exista deturpação de resultados devido a, por exemplo, variações abruptas de temperatura, ou pressão.

De forma a compreender verdadeiramente o impacto que as várias variáveis da Equação 5.13 têm num contexto menos teórico, assim como outros fatores relevantes, são identificados a seguir alguns exemplos de aspetos de maior impacto num teste e cálculo de taxas de fuga.

*Poiseuille*, um reconhecido físico francês, teve um papel fundamental no estudo e entendimento da dinâmica de fluidos, sobre as leis de fluxo laminar de fluidos viscosos em tubos cilíndricos [39]. *Poiseuille* usou uma expressão matemática, descoberta anteriormente pelo engenheiro hidráulico *Gotthilf Hagen*, que acabou por ficar conhecida como a equação de *Hagen-Poiseuille*. Esta permite obter um diferencial de pressão, de um dado fluido incompressível e *Newtoniano*, num escoamento laminar, através de um tubo cilíndrico de secção constante [40].

$$Q = \frac{Cd^4 \Delta P}{\mu l},\tag{5.14}$$

onde C corresponde a  $\frac{\pi}{128}$ , d ao diâmetro do tubo,  $\mu$  à viscosidade dinâmica,  $\Delta p$  à variação de pressão ao longo do tubo, e Q ao caudal volúmico, e l ao comprimento do tubo.

Através da equação 5.14, depreende-se facilmente que uma fuga, um caudal volumétrico, é influenciada por três fatores principais.

#### Geometria

A geometria interna do furo que origina o defeito é um dos fatores a considerar, assim como o respectivo diâmetro, perfil, forma (se é rectilíneo/sinuoso, ou suave/rugoso) e comprimento do caminho percorrido pelo caudal de fuga. É correto afirmar-se que a taxa de fuga está diretamente relacionada com o tamanho do defeito e da imperfeição numa dada peça em teste [41].



Figura 5.2: Dependência da fuga na pressão e no fluxo em função do diâmetro da fuga, consultada em [6].

A Figura 5.2 exemplifica claramente o aumento substancial no caudal de fuga, dado em cc/min, em função do diâmetro do perfil do defeito.

#### Fluido operante

Inserindo-se este estágio numa análise a produtos desenvolvidos para conter água no seu interior, usar líquidos para os testes de fugas seria a opção mais natural. No entanto, a utilização de gases comuns, como o ar, propicia um teste mais limpo, económico e de maior sensibilidade. Utilizando um teste a ar, não existe a necessidade de limpar e secar a peça testada, de forma a remover marcas e pingos, que, dada a complexidade e geometria de muitos dos canais internos das torneiras, poderia ser extremamente moroso e complexo, atrasando os tempos de ciclo de montagem e acrescentando custos secundários. A possibilidade de danificar as embalagens de cartão, e consequentemente os produtos no seu interior, apresenta-se como outra das razões fulcrais para a escolha de um meio como o ar para teste de fugas. Por fim, a proliferação de doenças é outro dos fatores para que se evite fazer testes de fugas com líquidos, pois aumenta as possibilidades de transportar e fomentar a propagação de doenças, como a Legionella pneumophila, entre outras, por todo o globo [42]. Caso seja imprescindível um teste a água (ou em outros líquidos), algumas medidas devem ser tomadas, como embalagens que permitam a desumidificação dos produtos no seu interior. Tendo em conta que a GROHE faz a calibração dos cartuchos termostáticos, já após a montagem dos mesmos nos corpos das torneiras, com água, as torneiras são revestidas com um saco de plástico perfurado, permitindo a que toda a água presente no seu interior evapore.



Figura 5.3: Saco perfurado para alojar torneiras termostáticas.



Figura 5.4: Saco com uma torneira termostática no seu interior.

Um método gráfico de conversão de uma *leak flow rate* para diferentes fluidos, em diferentes condições de pressão, seria bastante útil. Embora seja impossível conseguir uma conversão plena que englobe todos os parâmetros num só gráfico, uma abordagem pode ser feita. Santeler e Woller [38] criaram um gráfico que permite fazer esta conversão, podendo o mesmo ser consultado no presente relatório, em anexo, na Figura A.1. De forma a compreender o gráfico, é necessário entender que as linhas a cheio correspondem a água a uma dada pressão, enquanto as linhas a tracejado representam a ar/hélio, também a uma certa pressão. Traçando uma linha vertical, conforme está mostrado, é possível saber o *leak rate* tanto a ar como a água, a diferentes pressões. É de notar que as unidades de fuga neste gráfico são dadas em *lusec*.  $1 lusec = 1.333 \times 10^{-3} mbarls^{-1}$ .

#### Viscosidade

A taxa de fuga tem também uma elevada dependência das propriedades do fluido operante, nomeadamente a viscosidade. Quanto maior for a viscosidade do fluido, menor será a taxa de fuga, considerando a mesma pressão e o mesmo defeito. A viscosidade é um dos fatores preponderantes para que, atualmente, muitos dos equipamentos e métodos de deteção e avaliação de fugas utilizem ar em vez de água como meio de teste, pois o ar aumenta substancialmente a sensibilidade do teste, garantindo resultados mais realistas e fidedignos. A viscosidade é também profundamente dependente da temperatura (a uma pressão constante). A pressão também influencia a viscosidade, embora com uma dependência muito inferior à temperatura. Se o ambiente circundante no qual o aparelho de *leak rate testing* está inserido, ou no qual os testes são realizados, não for minimamente controlado, e tiver oscilações de temperatura, ou por exemplo, uma linha de abastecimento de ar comprimido muito solicitada que não garante um valor de pressão minimamente constante, o resultado final dos testes de estanquidade pode ser incoerente [43]. É importante referir que a viscosidade da água tem um comportamento diferente do ar, consoante uma variação de temperatura. A viscosidade do ar diminui 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300

Temperature [°C]



0.20

[°C

com a diminuição da temperatura, contrariamente à da água, cuja viscosidade aumenta com a diminuição da temperatura.

Figura 5.5: Dependência da viscosidade Figura 5.6: Dependência da viscosidade da do ar com a temperatura, consultada em água com a temperatura, consultada em [44].[45].

0

Nas Figuras 5.5 e 5.6, é possível observar a clara dependência da viscosidade dos fluidos água e ar em função de uma da temperatura. A título meramente exemplificativo, a uma temperatura ambiente de 20°C, o uso de nitrogénio como meio de teste propicia um teste 55.7 vezes mais sensível que um teste feito com água, devido à grande diferença de viscosidade entre ambos os fluidos [6].

A equação de Hagen-Poiseuille mostra que o caudal volumétrico não depende da massa molecular, mas sim da viscosidade. Assim sendo, é errado afirmar-se que, para a mesma pressão e geometria de fuga, o hélio verte 4 vezes mais que o nitrogénio devido ao facto de ter cerca de  $\frac{1}{4}$  da massa molecular do ar [46]. O que na realidade influencia o caudal da fuga é o facto de o nitrogénio ter uma viscosidade aproximadamente 10%inferior à do hélio à pressão ambiente [47]. Assim sendo, um dado produto com um defeito e diferencial de pressão fixo, verterá menos se cheio com hélio em vez de nitrogénio. É importante notar que os modelos de dinâmica de fluidos que são usados para desenvolver a Hagen-Poiseuille mudam caso o tamanho do furo diminua [6].

#### Diferencial de pressão

60

50

40

30

20

10

-100 0 100 200 300 400

Dynamic viscosity [µPa s]

Outro fator relevante para a variação de *leak rate*, é a variação de pressão ao longo do percurso do caudal do fluido. Aumentando o diferencial de pressão entre a pressão interna do produto/componente em teste e a pressão atmosférica, resulta num aumento da leak rate volumétrica. Quando a velocidade, no caso de um gás, atingir a velocidade do som, o caudal fica de certo modo estrangulado, e um aumento de pressão em nada contribuirá para um acréscimo no caudal volumétrico do gás. No entanto, é de notar que um contínuo aumento da pressão aumentará a massa volúmica do gás.

#### Temperatura

Tal como referido anteriormente, a viscosidade e a temperatura têm uma dependência direta. Portanto, num teste com recurso a ar, um aumento da temperatura, irá aumentar a viscosidade deste fluido, condicionando os resultados de um teste de fugas.

É importante realçar que a Equação 5.1 é um critério que, embora essencial, não é suficiente para definir um gás ideal. Em adição, outras condições são necessárias para a sua completa definição [48].

Manipulando a equação dos gases ideais é possível obter a seguinte relação:

$$\Delta P = P_1 \cdot \frac{\Delta T}{T_1} \tag{5.15}$$

, onde a temperatura de saída  ${\cal T}_1$  é dada na escala Kelvin, e a pressão de teste P1 absoluta.

A partir da Equação 5.15 são obtidos os seguintes valores:

Tabela 5.1: Dependência de variação de pressão em relação a um diferencial de temperatura, adaptada de [49].

$P_{relativa}$	$P_{absoluta}$	Temperatura	$\mid \Delta T \mid$	$\Delta P$
1 bar	200000 Pa	$20^{\circ}C$	0,1  K	68,2 Pa
$5 \mathrm{bar}$	600000 Pa	$20^{\circ}\mathrm{C}$	0,1 K   2	04,7 Pa
10 bar	1100000 Pa	$20^{\circ}\mathrm{C}$	0,1 K   3	75,2 Pa

Como é possível observar da Tabela 5.1, uma variação de apenas 0,1 K (ou  $0.1^{\circ}$ C), durante a medição de fugas com equipamento específico, acarreta uma enorme variação na pressão final que não é desprezável. Quanto maior a pressão de teste, maior a dependência da temperatura em relação à pressão. A temperatura é, portanto, um fator crucial na tecnologia de *leak testing*. Para transpor esta "barreira", vários fabricantes de *software* e equipamento de medição de fugas usam metodologias nos seus equipamentos que permitem colmatar as variações que o resultado final pode ter devido a diferenças de temperatura aquando da medição de fugas [36].

#### Livre percurso médio (mean free path)

Tal como referido no Capítulo 2, o livre percurso médio corresponde à distância média que uma molécula, de um dado gás, ou vapor, percorre antes de colidir com uma outra molécula em seu redor. Quanto maior a ausência de ar (num sistema de vácuo por exemplo), maior será a distância percorrida entre moléculas portanto, as moléculas acabam por colidir mais facilmente com as paredes da câmara de vácuo. Sistemas de detecção de *leak rates* com recurso a vácuo assentam neste princípio. Esta tecnologia é aprofundado no Capítulo 6.
Pressão	$1013 \ mbar$	$1 \times 10^{-3}mbar$	$  1 \times 10^{-9} mbar$
Quantidade por $cm^3$	$3 \times 10^{19}$	$3 \times 10^{13}$	$3 \times 10^7$
Livre Percurso Médio	$6,8 \times 10^{-5} mm$	$6,8\ cm$	$6,8 \ km$

Tabela 5.2: Dependência do volume em função do LPM, adaptada de [50].

O livre percurso médio é proporcional à pressão. À temperatura atmosférica, as partículas colidem a cada  $10 \cdot \frac{1}{1000}$  de milímetro, mas a uma pressão de  $10^{-9}$  mbar apenas colidem ao fim de 6,8km. A formulação abaixo permite calcular o valor do LPM.

$$LPM = \frac{6.8 \cdot 10^{-3} \, mbar \cdot cm}{P_{mbar}}$$
(5.16)

Uma comparação do livre percurso médio para diferentes gases a uma temperatura de 20°C, para diferentes pressões, encontra-se na Tabela 5.3

Pressão [Pa]	$  10^{-7}$	$ 10^{-3}$	1	$  10^3$	$  10^5$
Pressão [mbar]	$  10^{-9}$	$10^{-5}$	$ 10^{-2}$	10	1000
Livre Percuso Médio	km	m	$\mid mm$	$\mid \mu m$	$\mid nm$
Ar	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
$CO_2$	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Oxigénio	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Hidrogénio	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7

Tabela 5.3: Dependência do volume em função do LPM, adaptado de [50].

#### Tensão superficial

Outro dos fatores que tem um grande impacto, e que se apresenta como uma das razões principais para o uso de ar em substituição da água em testes de estanquidade. A tensão superficial, aliada a outros fatores como a viscosidade, é uma das razões pela qual existe uma diferença tão significativa comparando os caudais de ar e água ao longo de tubo capilares. Primeiramente, é importante compreender o que é um capilar. A ação capilar corresponde à tendência de um líquido surgir em tubos estreitos, ou mesmo em pequenas aberturas de um dado material, ou, exemplificativamente, no granulado de uma estrutura rochosa. A ação capilar é o resultado da atração intermolecular entre um líquido e materiais sólidos [51]. A influência da tensão superficial numa fuga de um líquido pode ser, principalmente, considerada no caso de um teste a baixa pressão e para canais capilares de pequeno diâmetro [38].

A formulação seguinte representa a ação da tensão superficial num canal capilar:

$$P = \frac{4\sigma}{D} \tag{5.17}$$

, onde P é a diferença de pressão, D o diâmetro e  $\sigma$  a tensão superficial em N/m. A partir da Equação 5.17 é facilmente depreendido que com uma diminuição de diâmetro do canal capilar, a pressão necessária para vencer a tensão superficial aumenta. Se a perda de pressão ao longo do orifício for superior à tensão superficial, ocorrerá fluxo de líquido, conduzindo a uma fuga. É de notar que o comprimento do tubo capilar em nada influencia esta formulação, apenas o diâmetro.

Quanto à influência da tensão superficial num canal de fuga, ou *leak path*, é compreensível que a mesma seja muito superior, comparativamente à verificada num tubo capilar. Isto deve-se ao facto da existência de várias secções transversais ao longo do percurso de fuga, que exige que a pressão necessária para superar a tensão superficial seja várias vezes superiores à registada num capilar [52]. Esta relação é dada pela Equação 5.18.

$$P_s = 0.577\sqrt{R}P_c \tag{5.18}$$

As condições e acabamento das paredes do interior de um *leak path* têm um enorme impacto no caudal e na resistência ao escoamento de um dado fluido. Paredes lisas apresentam um resistência ao escoamento significativamente menor do que paredes mais rugosas e irregulares. Na prática, este canais e caminhos de passagem de uma fuga não são controlados nem projetados, portanto, por norma são ásperos e irregulares. Assim sendo, é difícil de obter uma repetibilidade na passagem de caudal através desses tipos de canais. O acabamento superficial destes canais aumenta a área da superfície em contacto com o fluido e, portanto, a resistência à sua passagem. Isto, em conjunto com a viscosidade dos fluidos operantes, previne, ou até mesmo restringe o escoamento de certos fluidos, enquanto que o ar, com menor viscosidade, e sem a ação da tensão superficial, flui com mais facilidade [11].

#### Cg (índice de capacidade)

O índice de capacidade Cg é utilizado de forma a avaliar a capacidade de teste para um determinado aparelho de teste, podendo ser tornado como uma medida de precisão. Cg é estabelecido na base de uma avaliação estatística. Através dos valores de Cg, é possível avaliar objetivamente a correta repetibilidade conseguida ao longo dos testes de fuga, isto é, se as peças dadas como com e sem fuga podem ser devidamente identificadas e avaliadas. A partir da Equação 5.19 é possível estimar um valor de Cg:

$$Cg = \frac{0.2 \cdot T}{6 \cdot s} \tag{5.19}$$

Num contexto metrológico, a tolerância T corresponde à diferença de valores média entre uma peça boa e uma má. O desvio padrão s é calculado na base da distribuição dos valores medidos de uma peça marginalmente rejeitada. Um maior valor de **Cg** pode ser obtido por:

- 1. Aumento da tolerância T:
  - Aumento da distância na distribuição da média de valores de peças com e sem defeito;

- Prolongamento das fases de teste;
- Aumento da *leak rate* admissível;
- Usar material de enchimento (reduzir o volume das peças a testar).
- 2. Redução do desvio padrão s:
  - Prolongar as fases de teste (exemplo: tempo de estabilização);
  - Condições de teste mais estáveis (peça de teste, acondicionamento, *layout* de teste, parâmetros, e outros fatores);
  - Redução da influência de distúrbios.

Embora todas as fases de um teste de estanquidade estejam já perfeitamente previstas e descritas, ainda é muito difícil, se não praticamente impossível, precisar o tempo total de um teste de fugas. Isto deve-se à influência de uma grande variedade de fatores, como geometria das peças em teste, as respetivas propriedades, e o acondicionamento, entre outros. Mas pelo menos é possível estimar grosseiramente o tempo de teste através do uso do índice Cg. Este permite uma estimativa, no caso de o processo de teste ser caracterizado por um procedimento seguro de repetibilidade e exatidão.

Quando se trabalha com pressões positivas, o ar é adiabaticamente comprimido durante a fase de enchimento do volume da câmara cuja estanquidade se pretende avaliar, que resulta num aumento da temperatura do gás no interior da câmara de teste (da peça). Esta variação de temperatura do ar deverá estabilizar durante a fase de estabilização. Sabe-se que esta fase é das mais importantes para o processo de medição e obtenção de resultados. Devido ao facto de a fase de estabilização, aparentemente, não influenciar os resultado final de um dado teste de fugas, existe a tendência de reduzir os tempos da sua medição com o fim de melhorar os tempos de ciclo. No entanto, ao fazer-se isso, ter-se-á um maior desvio de resultados, conduzindo a um maior desvio padrão. Tudo isto resulta também numa descida no índice Cg, pois o desvio padrão s é usado para determinar o seu valor [36, 49, 53]. No decorrer dos testes, o impacto da redução do tempo da fase de estabilização foi estudado e chegou-se experimentalmente aos seguintes resultados:

Tempo de Estabilização	8,0 s	7,0 s	6,0 s
Tolerância	33,72 Pa	32,56 Pa	32,28 Pa
Desvio padrão	0,60 Pa	0,77 Pa	0,84Pa
Cg	1,882	1,409	1,280

Tabela 5.4: Depedência de  $\mathbf{Cg}$  em função do tempo de estabilização, consultada em [54]

Outro dos fatores de relevância em testes de fugas, e que muitas vezes é desprezado, tem a ver com a estabilidade do próprio circuito de medição, incidindo-se principalmente na resistência e flexibilidade da própria tubagem e ligações adjacentes da tubagem e ligações pneumáticas. Caso contrário, poderá ocorrer uma variação de, principalmente volume, que conduzirá a um maior desvio padrão. Tendo em conta que o desvio padrão é utilizado para o cálculo do fator Cg, uma variação de volume conduzirá a um valor de Cg inferior [54].



Figura 5.7: Separação entre peças admissíveis (a verde) e peças rejeitadas (a vermelho), com respetivos valores de Cg para cada gráfico, consultada em [55].

Na Tabela 5.5 estão os valores obtidos experimentalmente, para tubos de diferentes materiais, ambos com 4 mm de diâmetro, um volume total de  $160 cm^3$ , a uma pressão de teste de 2 bar, um *leak rate* admissível de 0.87 cc/min, para 3 segundos de tempo de enchimento, 8 segundos de estabilização, 5 segundos de medição e 1 segundo de descarga.

Material de linha	Tubo PA	Tubo PU	Silicone
$\Delta V @ 2 bar$	0,00 mm	$0,02 \mathrm{~mm}$	$0,\!12 \mathrm{~mm}$
Desvio padrão	0.60 Pa	0.97 Pa	1.05 Pa
Falha média	39,24 Pa	36,88 Pa	70,12 Pa
$C_g$	1,88	1,08	0,96

Tabela 5.5: Relação de Cg para diferentes tubagens, consultada em [56].

Após a análise da Tabela 5.5 é possível concluir que a tubagem em silicone potencia um teste com menor "capacidade", comparativamente a materiais com maior estabilidade dimensional inerente, onde se verifica um menor aumento do diâmetro interno da tubagem.

#### Condutância C

O conceito de condutância, aplicado especialmente a sistemas a vácuo para deteção de fugas (*conductance* em inglês), deriva da ideia de um caudal ser proporcional a uma diferença de pressão, com uma proporcionalidade constante, a condutância. Considerando L

como o valor de standard leak rate e  $\Delta P$  como o diferencial de pressão interna do corpo face à pressão exterior, é possível determinar o valor da condutância como:  $C = L/\Delta P$ [9, 57]. Esta é uma equação geral, podendo ser aplicada para calcular todas as fugas com origem em poros, ou por permeação [58]. O valor de condutância depende não só da pressão e natureza do gás, mas também da forma da secção do elemento no qual o gás flui. Outros fatores a considerar baseiam-se no comprimento e forma do elemento, ou seja, se tem uma forma curva, ou não. Como resultado, várias equações são necessárias para transpor estas considerações para efeitos práticos. Cada uma das equações é válida apenas para uma certa gama de pressões Uma fuga com um valor de condutância variável é denominada de fuga variável [10].

#### Tipos de fluxo

Uma análise de algumas bases de dinâmica de fluidos é fundamental por forma a obter algumas noções teóricas fundamentais para compreender e desenvolver um trabalho no âmbito do estudo de fugas, tal como no presente relatório se insere.

A relação entre o livre percurso médio e o diâmetro do canal de passagem do fluxo pode ser utilizado por forma a descrever vários tipos de fluxos. Esta relação é descrita como número de *Knudsen*:

$$Kn = \frac{\bar{l}[m]}{d[m]} \tag{5.20}$$

O valor do número de *Knudsen* caracteriza o tipo fluxo de um dado fluido, e restringeo a um certo intervalo de pressão. A Tabela A.1, em anexo, apresenta uma visão abrangente dos vários tipos de fluxo na tecnologia de deteção de fugas, nomeadamente de vácuo [52, 5, 57, 59]. Na Figura 5.8 estão presentes três diferentes tipos de fluxo.



Figura 5.8: Perfis de vários tipos de regimes de fluxo, consultada em [60].

#### Fluxo viscoso

No caso de um fluxo viscoso, é feita a distinção entre escoamento laminar, turbulento e transitório, número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot \upsilon \cdot l}{\mu} \tag{5.21}$$

Em que  $\rho$  é a massa volúmica fluido  $[kg m^{-3}]$ , v a velocidade do fluido  $[m s^{-1}]$ , l o comprimento característico [m], e  $\eta$  a viscosidade dinâmica [Pa s]

- Laminar Este tipo de escoamento, é caracterizado por uma movimentação "ordenada" das partículas que compõem o fluido, em camadas, paralelas (não há mistura das mesmas), sem variação de velocidade. As partículas do fluido mantêm uma posição relativa ao longo do escoamento. O regime laminar existe quando um dado escoamento (no interior de uma conduta) apresenta um número de *Reynolds* inferior a 2300. Por norma, um escoamento laminar é verificado em sistemas onde há o descolamento de fluidos viscosos, a baixas velocidades.
- **Turbulento** No caso da velocidade aumentar, a clara distinção de camadas anteriormente existente é quebrada, havendo choques desordenados e aleatórios entre as partículas. Neste caso está-se perante um escoamento turbulento. Este regime é verificado geralmente quando o valor de número de *Re* é superior a 4000 (no interior de uma conduta). A grande generalidade dos fluxos de fluidos em condutas e tubagens (assim como torneiras), correspondem a fluxos turbulentos
- **Transitório** Geralmente escoamentos de fluido com um número de *Reynolds* compreendido entre 2000 e 4000 (no interior de uma conduta), quando não é possível distinguir com clareza o tipo de escoamento em causa.

#### Fluxo molecular

Um fluxo molecular, nomeadamente através de uma fuga, ocorre através de moléculas individuais, e apenas pode ser detetado através de equipamento altamente sofisticado, tal como espectrómetros de massa, que são abordados no Capítulo 6, visto que a fuga é tão pequena, que não é percetível a formação de quaisquer "bolhas".

Neste tipo de fluxo, as moléculas de fluido movem-se livremente, sem qualquer interferência mútua. Está-se presente um fluxo molecular quando o livre percurso médio de uma partícula é muito maior que o diâmetro de "tubo" no qual a mesma se desloca.

#### Fluxo de Knudsen

Corresponde ao fluxo que se situa no intervalo entre os fluxos viscoso e molecular. Neste caso, quando o número de Knudsen se situa entre 0.01 e 0.5 [5].

# Capítulo 6

# Métodos de teste e deteção de fugas, e respetivas vantagens e desvantagens

# 6.1 Enquadramento dos métodos e modelos de deteção e avaliação de fugas

Atualmente existem duas metodologias principais de teste: testes destrutivos e nãodestrutivos. Tal como o nome indica, um teste destrutivo inclui métodos em que o material, ou produto em teste, é danificado, ou destruído, de modo a determinar as suas propriedades mecânicas, tal como rigidez, dureza e resistência. Testes destrutivos são geralmente mais adequados e financeiramente mais viáveis para uma produção em massa, pois o custo de destruição de um pequeno número de peças é negligenciável, comparativamente com a totalidade produzida. As amostras são sujeitas a diferentes solicitações, sendo possível desta forma analisar, por exemplo, o seu ponto de rutura, ou deformação máxima. São testes de elevada importância, considerando áreas como o desenvolvimento, prototipagem, análise química e metalúrgica.

Uma definição geral de um teste não destrutivo (NDT) consiste num exame, teste, e ou avaliação realizada em qualquer tipo de objeto, sem mudar a sua forma, ou alterar quaisquer que sejam as suas propriedades. Tem como o objetivo determinar a ausência, ou presença de condições, ou irregularidades, que possam interferir com a usabilidade, ou manutenção de um dado objeto/produto. NDT podem também ser realizados para medir diversas outras características de uma certo produto, como o seu tamanho, dimensões, configurações, estrutura, tipo de ligas, dureza, entre outras. De forma sucinta, é uma verificação realizada a um objeto, de qualquer tipo, tamanho, forma, ou material, com o fim de determinar a presença, ou ausência de condicionantes que possam conduzir a uma irregularidade na sua utilização.

Este tipo de teste tem várias utilizações, apresentando um papel crítico na certificação e garantia de qualidade de um certo produto, sendo de maneira geral, eficaz, com baixo custo e fidedigno. Técnicos e engenheiros definem e implementam testes que possibilitem a localização e caracterização das condições de uma dada peça, assim como apontam possíveis causas de falência de funções.

Como um NDT possibilita uma inspeção sem interferir com o exercício e desempenho

do produto após a realização do teste, apresenta-se como um meio de certificação e inspeção com uma relação de qualidade-custo ímpar. Este tipo de tecnologia é utilizado nas mais diferentes áreas, com um amplo nível de exigência e rigor [61].

NDT pode ser utilizado tanto antes como após a produção, fabricação e montagem de peças.

Como principais tipos de meios de teste, existem:

- Ultrasons;
- Radiograficas;
- Líquido penetrante;
- Eletromagnético;
- Visual;
- Fugas.

Tal como mencionado acima, os testes de fugas, em que se insere o âmbito desde relatório, correspondem a testes não destrutivos. O processo de detetar e quantificar uma fuga de um dado produto é denominado por *leak testing*, ou teste de fugas [6].

Os sistemas de controlo de qualidade relativos a *leak rate* têm-se tornado cada vez mais rigorosos, havendo uma crescente exigência a produtos com vedação, de especificações meticulosamente controladas. Não apenas em tecnologias de controlo de fugas de ultra-elevado vácuo (abordado no seguimento de presente capítulo), mas também em produtos que operam em ambientes de baixa pressão, ou pressão atmosférica, deve de haver uma garantia de quantidade de fuga máxima admissível garantida. Vários equipamentos e tecnologias têm vindo a ser desenvolvidos ao longo dos anos, de forma a conseguir localizar com melhor precisão, e de uma maneira mais eficiente, fugas não visíveis, sem aumentar substancialmente os custos de operação e aquisição destes equipamentos, assim como dependerem do mínimo de competência/habilidade e atenção por parte do operador [62]. De modo a transpor este dilema, é necessário compreender todos os aspetos referentes a um processo de teste de fugas [6]

O controlo de perdas de fluidos, nomeadamente água, tem sido uma prática desde que os primeiros sistemas e obras de engenharia hidráulica foram construídas.

Desde há algumas décadas que os testes de estanquidade têm vindo a ser alargados a várias indústrias, tendo sido o seu começo dado pela implementação em massa em indústrias de produção de artigos perigosos, ou de elevado valor tecnológico. Um bom exemplo que demonstra claramente o progresso e aumento da exigência no controlo de fugas é a indústria automóvel. Nas décadas de 60 e 70, em que uma fuga de óleo nos motores, ou transmissões mecânicas era aceitável, passou a apresentar-se como uma total *não conformidade*, e a reprovar nos testes de qualidade logo nas décadas seguintes, de 80 e 90 [63]. Hoje em dia, os testes de estanquidade foram alargados a uma extensa panóplia de indústrias, tal como mostra a Tabela 6.1



Tabela 6.1: Aplicações de testes de fuga, adaptada de [64].

Métodos e modelos de deteção de fugas apresentam uma enorme importância na atualidade. São eles que muitas vezes são responsáveis por validar, ou reprovar um dado conceito, ou produto. Métodos de deteção rápida e não destrutiva, utilizando gases, ou líquidos em compartimentos e sistemas com vedação, têm uma enorme importância tanto a nível militar como industrial. A fiabilidade destes sistemas é significativamente aumentada, ao serem considerados cuidadosamente todos os componentes presentes no sistema [10].

As principais vantagens e motivos da realização de um teste de fugas é feita pelos seguintes motivos:

- Prevenir a quebra, ou danos causados por uma fuga;
- Prevenir contaminação, potenciadora de condições de perigo e de risco;
- Detetar componentes com defeito e controlar a fiabilidade de um dado sistema.

Uma das maiores dificuldade e decisões mais importantes referentes a teste de fugas é a escolha do método a utilizar. O método preferencial deve de ser escolhido com especial cuidado. Uma seleção correta deverá ter em conta os seguintes fatores:

- Sensibilidade;
- Custo;
- Fiabilidade;
- Repetibilidade.

Primeiro, a sensibilidade de uma dada tecnologia, ou método de teste tem de ser a adequada. Isto implica a que a resolução do teste escolhido seja otimizada aos produtos em questão, não detetando fugas por excesso, caso seja um teste de elevada sensibilidade, ou sendo simplesmente incapaz de identificar fugas que possam vir a ser percetíveis pelo cliente final.

O custo é sempre um fator preponderante na escolha de qualquer método de deteção de fugas. Ainda mais numa linha de montagem como é o caso da GROHE Albergaria, que requer o uso de um elevado número de equipamentos de medição de fugas, este é um dos fatores mais importantes a considerar na escolha de qualquer *leak tester*. Por norma,

o custo está sempre muito associado à sensibilidade de medição do equipamento. Tendo em conta que o custo da deteção de fugas aumenta inversamente o valor da *leak rate* a detetar, testar desnecessariamente fugas pequenas apenas aumentará os custos finais de produção [12]. O custo de operação é também muito importante e, como tal, um fator a considerar. Tal como é possível ver no seguimento deste capítulo, existem vários meios e fluidos operantes para uma série de diferentes tecnologias de deteção de fugas. Como é de prever, a facilidade e custo de obtenção de um fluido como água, é completamente diferente de ar-comprimido, ou mesmo de hélio.

A fiabilidade e repetibilidade são também fatores a considerar. Dependendo da cadência de produção, estas duas condições são muito importantes, já que a não requer muita manutenção e reparações para funcionarem em perfeitas condição, sem comprometer a produção e análise de fugas.

Uma maneira de abordar a problemática da escolha e seleção de um método preferencial é classificar os diferentes métodos existentes de acordo com a sua sensibilidade. Por conseguinte, definir a exigência necessária e optar pelo método que melhor se enquadra à realidade em que o mesmo estará inserido. Escalas de temperatura, pressão e fluido operante estão também muito envolvidos na escolha final da tecnologia, equipamento e procedimento de teste. Após a recolha e verificação de todos estes factos, é recomendado que a escolha seja feita passo a passo, analisando detalhadamente os prós e contras de cada método, sendo por fim óbvia e simples a escolha do método de teste mais indicado, caso contrário, uma escolha errada poderá conduzir a baixa sensibilidade, baixa repetibilidade e dificuldades de medição [10, 65].

Outros fatores de importância relevante na determinação e no auxílio da escolha do método de teste mais indicado são também [66]:

- Dimensões do produto a testar;
- O tempo de ciclo de cada teste;
- Teste autónomo, de funcionamento automático, ou manual;
- A durabilidade exigida para o produto em teste;
- Valores de *leak rate* de aprovação/reprovação.

### 6.2 Diferentes métodos e modelos de deteção de fugas

Dada a vasta diversidade e complexidade de métodos de deteção de fugas existentes, tem este subcapítulo 6.2 como intuído fazer uma abordagem geral às vantagens, desvantagens, implicações e informações relevantes de cada um dos diferentes métodos de teste e deteção de fugas em uso na atualidade. Por fim, é feita um análise aos métodos atualmente em uso na GROHE Albergaria.

É possível dividir os testes de fugas em três diferentes categorias [67]:

- Deteção de fugas;
- Localização de fugas;
- Medição de fugas.

#### 6.2.1 Teste de bolhas (Bubble test)



Figura 6.1: Teste de bolhas imerso em água, consultada em [50].



Figura 6.2: Teste de bolhas com *spray* de espuma, consultada em [68].

Um teste de fugas *bubble teste* é um bom exemplo de um teste que permite a "deteção", assim como a "localização" de fugas [8], não devendo ser utilizado para a sua quantificação das mesmas [6].

É um método relativamente simples, que consiste na pressurização de um dado componente, ou objeto em teste, com ar, ou hidrogénio, enquanto submergido em água, e observar as bolhas que escapam do seu interior (*leak rate*). A quantidade de bolhas que saem do interior do objeto depende naturalmente da geometria do furo, assim como da pressão do ar injetado para o interior do corpo. É um teste de fácil utilização e bastante percetível, dado que indica de uma maneira visual, a localização da fuga, assim como o tamanho relativo da mesma. Se para uma pressão constante, a quantidade de bolhas que saem do corpo aumentar, depreende-se que o tamanho da fuga cresce similarmente. Apresenta uma sensibilidade teórica de teste na ordem dos  $10^{-4} mbar.l/s$ , mas, no entanto, em condições reais de teste, a sensibilidade real é menor que  $10^{-3} mbar.l/s$ . É, sem dúvida, dos testes com o melhor custo-benefício de toda a panóplia de testes de fugas existentes no mercado, sendo este o principal fator por ainda ser utilizado numa diversidade tão grande de indústrias [6].

Para melhorar a capacidade de deteção de um teste de bolhas, podem ser tomados alguns cuidados como, por exemplo, fazer um pré aquecimento da água, ou do líquido usado na deteção de fugas, de forma a reduzir a viscosidade do mesmo, diminuindo a tensão superficial no interior do produto [62]. Assim, possibilita a que bolhas mais pequenas possam surgir, revelando fugas que não seriam detetadas de outra forma. As condições de iluminação são também muito importantes, porque permitem ao operador visualizar as bolhas de ar mais facilmente, através do aumento da translucidez da água. Reduzindo a pressão de teste, permite a formação de bolhas maiores, o que facilita a sua deteção [68].

Em contrapartida, corresponde a um teste de difícil implementação, especialmente numa linha de montagem. É inteiramente dependente da atenção e competências do operador, podendo ser um pouco subjetivo o resultado por ele determinado. Consoante a dimensão da peça a testar, de forma a poder abranger a totalidade da superfície da peça, é necessário que a mesma esteja totalmente imersa num reservatório, o que, dependendo da dimensão do produto em teste, poderá implicar um extenso espaço disponível de modo a efetuar, em plenas condições, o teste de fugas. Por vezes, dependendo da geometria e estrutura do corpo em análise, algumas bolhas podem ficar presas, ou serem desviadas, não revelando com rigor a localização, ou a taxa de fuga de um dado defeito.

Para além das desvantagens enumeradas anteriormente, é necessário que exista uma limpeza regular da água de teste, o que acrescenta alguns custos a esta metodologia, embora mínimo tendo em conta o seu custo quase irrisório, mas um aumento de tempo associado à utilização deste método de teste [66].

Apesar de aparentar ser um teste relativamente simples de operar, requer algumas precauções quando efetuado com pressões de teste altas. Um recipiente cheio de gás a elevadas pressões pode rebentar, resultando em ferimentos graves para o utilizador. Deste modo, algumas medidas de segurança, como paredes de proteção, ou equipamentos de segurança e proteção individual, são aconselháveis [50]. Para além destes fatores, a necessidade de limpar e secar a peça após este teste de fugas é uma das principais desvantagens e inconvenientes à sua utilização, principalmente numa produção em série.

Quanto à quantificação da *leak rate*, de um modo teórico, tendo em conta que o volume de uma bolha de água, ou gás pode ser calculado, baseado na suposição de que se trata de uma esfera, e medindo a cadência temporal de bolhas, um valor de taxa de fuga é possível a partir da seguinte fórmula [52]:

$$Leakage \ Rate = \frac{N^{\underline{\circ}}Bolhas}{minuto} \times \frac{Volume \ bolha \ (cc^3)}{16.38} \times \frac{minuto}{60 \ segundos} \tag{6.1}$$

Relativamente à Figura 6.2, um teste de bolhas com spray de espuma apresenta bastantes semelhanças com o típico teste de bolhas imerso em água. Requer que a peça em teste seja também pressurizada no momento de teste, assim como atenção por parte do operador na deteção das bolhas, e o baixo custo de operação inerente. Como principais diferenças, o produto em teste não está imerso em água, requerendo mais alguma experiência e conhecimento do produto em causa, de modo a perceber os possíveis pontos de fuga, e onde aplicar o produto de *leak detection*. Este teste apresenta também uma sensibilidade, em termos práticos, um pouco superior à presente na Figura 6.1, cerca de  $10^{-4} mbar.l/s$ .

No caso de a fuga ser elevada, é por vezes impercetível a localização, pois o ar ao ser expelido em grandes quantidades do interior da peça, acaba por afastar a espuma, ao invés de criar bolhas localizadas como seria desejável [13].

Esta metodologia de teste é amplamente usada na unidade fabril da GROHE Albergaria, especialmente na secção de montagem. Tanto operadores, como os departamentos de qualidade, manutenção e engenharia, ao se depararem com uma fuga no teste de fugas, de modo a perceber a sua origem, recorrem ao método de spray de espuma. Desta forma é facilmente percetível, ainda mais tratando-se de uma torneira, onde a localização de possíveis pontos de fuga é conhecida de antemão, perceber se a fuga se deve a um acoplamento incorreto de componentes, ou mesmo a uma fuga na própria bancada de testes de estanquidade. Pode-se utilizar um spray "caseiro", composto pela mistura de detergente e água, ou dependendo da exigência do teste e produtos em causa, soluções comerciais que garantam melhores resultados de deteção [5].

#### 6.2.2 Teste de ultra sons (*ultrasonic*)

Qualquer tipo de fuga emite um som. Dependendo do seu tamanho, a frequência pode ser maior, ou menor. Fugas muito pequenas emitem uma frequência demasiado elevada

para conseguir ser percetível pelo ouvido humano. Desta forma, apenas com um detetor de fugas ultrassónico será possível detetá-las

Por norma, este tipo de detetores é bastante portátil, fazendo-se acompanhar de uns auscultadores que permitem ao operador conseguir detetar o ruído com melhor precisão. Este método de deteção é recomendado apenas para a deteção de grandes fugas pois, no caso de múltiplas pequenas e fugas, será impossível ao operador conseguir quantificá-las e identificá-las individualmente. Como principais vantagens deste tipo de teste, salientase o facto de ser de pequenas dimensões e simples de operar, e de permitir uma fácil automatização e implementação numa linha de produção. Pelo contrário, apenas tem uma sensibilidade na ordem dos  $10^{-2} mbar.l/s$ , não sendo este sistema capaz de medir, mas sim apenas identificar a existência de fugas. Caso seja utilizando num ambiente fabril, com vários ruídos circundantes, as verdadeiras fugas podem ser camufladas e não detetadas [66].



Figura 6.3: Teste de ultra sons, adaptada de [69].

#### 6.2.3 Deteção, spray e acumulação de hélio

O hélio é um dos gases mais utilizados como meio de deteção de fugas, em processos de tracing gas. A crescente utilização do hélio deve-se principalmente à sua concentração no meio ambiente (cerca de 5*ppm*), assim como pelo facto de ser um gás inerte. Desta forma, não representa qualquer perigo à deterioração do produto em teste. No entanto, o hélio é um gás bastante caro. Por ano, é possível alcançar despesas na ordem dos 85.000 €, apenas devidas à utilização de técnicas de deteção que façam uso deste gás [6].

O método de **deteção de hélio** (*helium sniff*) permite detetar, com uma enorme precisão, a localização de uma fuga existente num dado objeto, inferior a  $10^{-6} m bar.l/s$ . O componente em análise é cheio de hélio pressurizado e depois é feito um rastreamento com o *snif fer* a toda a superfície e possíveis pontos de fuga. No caso de existência de uma fuga, haverá um concentração de hélio no ar atmosférico superior aos valores normais, o que levará à sua localização.

Este método apresenta como principais vantagens a elevada sensibilidade de deteção, assim como o facto de ser compacto, não molhar a peça e ter um custo de operação relativamente baixo. O pleno funcionamento desta metodologia de teste é independente da volumetria e dimensões da peça de teste. Com um aumento de pressão, é possível melhorar a capacidade e sensibilidade do teste.

Como principais desvantagens o facto de ser muito dependente do operador para um correto manuseio do aparelho de deteção (sniffer), e apresentar um perigo acrescido quando operado a elevadas pressões. No caso de repetidos testes com produtos defeituosos, os níveis de hélio podem ficar saturados, o que levará a resultados irrealistas por parte do aparelho. A sensibilidade deste dispositivo está limitada à concentração natural de hélio presente no ar atmosférico, 5 ppm [50, 15, 5, 13, 66].



Figura 6.4: Deteção de hélio por *sniff*, consultada em [50].

Quando ao método spray de hélio, baseia-se num *spraying* de hélio sobre a peça em teste. Por usa vez, a peça está diretamente ligada a um sistema de bombeamento com um detetor de hélio integrado.

O primeiro passo do teste passa por evacuar o ar presente na peça, de modo a obter vácuo no seu interior. Caso esta etapa seja dada como concluída, a peça é então borrifada com um spray de hélio. No caso da existência de uma fuga no componente em teste, isto permitirá que algum hélio se infiltre no interior da peça, sendo de imediato detetado pelo detetor de elevada sensibilidade integrante neste sistema de deteção de fugas. Ao entrar na peça, é produzida um pressão parcial de hélio, que é dada pela quantidade de hélio que entra e que sai pela bomba de ar responsável por produzir o vácuo no interior da peça. A pressão parcial do gás, neste caso hélio, corresponde a uma pressão hipotética de um gás, se o mesmo ocupasse o volume total da mistura original à mesma temperatura [70].

À semelhança do sistema de *sniff* de hélio, apresenta uma sensibilidade de medição na ordem dos  $10^{-6} mbar.l/s$ , sendo também bastante compacto e não requerendo elevadas pressões de forma a melhorar a sensibilidade e capacidade de medição do teste, não aumentado os riscos da sua operação. Em contrapartida, é também dependente da capacidade e destreza de medição do operador. Não permite uma localização precisa das fugas, podendo mesmo existir um camuflagem das mesmas, caso exista grande proximidade entre elas [50, 5, 13, 66].



Figura 6.5: Deteção de hélio por spray, consultada em [50].

O método de *acumulação de hélio* tem um princípio idêntico, tanto ao método de spray como de *sniff*, ou seja, também consiste na medição da pressão parcial de hélio como forma de deteção de uma fuga num dado corpo, ou sistema. Primeiramente, o componente em teste é posicionado num ambiente fechado e controlado (invólucro). De seguida faz-se a evacuação do ar no interior do invólucro, de forma a que, no passo seguinte, se evite a mistura entre gases da atmosfera e o hélio, que sustenta a *performance* do aparelho. Esta operação permite detetar grosseiramente a existência de fugas de relativamente grandes dimensões, pois não permitirá o alcance de um "total" vácuo no componente. Caso a operação anterior seja concluída com êxito, então o componente é cheio com hélio, ao mesmo tempo que o ar no invólucro (a  $P_{atm}$ ) é continuamente circulado e misturado, de forma a garantir uma concentração uniforme de ar no mesmo. De seguida dá-se o tempo de acumulação, dependente das dimensões do invólucro, dimensão do componente e *leak rate*.

A segunda medição de fugas é feita assim que o período de acumulação termina, medindo o aumento de pressão parcial de hélio lido pelo aparelho de teste.

De realçar o facto deste sistema não necessitar de nenhuma câmara de vácuo, visto que o sensor T-Guard (responsável pela medição do hélio) funciona em pleno a uma pressão atmosférica. Assim sendo, todos os custos inerentes a uma tecnologia de vácuo (aprofundados no desenvolvimento do presente subcapítulo) são poupados, reduzindo custos de obtenção, operação e manutenção de equipamentos. Outra grande vantagem deste sistema baseia-se na independência que os resultados obtidos têm em função da variação de temperatura. O tempo total medição de fugas para um dado produto (cerca de 45 segundos) é a principal desvantagem do uso desta tecnologia [50, 5, 66, 15].



Figura 6.6: Teste de acumulação de hélio, Figura 6.7: Gráfico de fases de teste consultada em [13]. do teste de acumulação de hélio.

#### 6.2.4 Testes de vácuo

O vácuo é gerado removendo o ar de um dado invólucro. É importante compreender que não é possível remover a totalidade do ar de um dado volume. Existirão sempre partículas de ar no invólucro que produzirão pressão, mesmo por mais pequena que a mesma seja, portanto, pressão com valor absoluto de zero não é possível na prática [15].

Vários gases têm sido utilizados como meio de procura de fugas e medição *leak* rates, como amónia e outros gases halogéneos. Desde que os testes de medição na base da deteção de hélio e espectrómetro de massa foram desenvolvidos, todos as outras metodologias e tecnologias passaram a ser menos relevantes quanto à deteção de fugas. Uma medição com um espectrómetro de massa assegura que apenas hélio (no caso de ser o gás de medição) poderá influenciar na medição do teste.

A procura de fugas e medição de *leak rate* com hélio e deteção deste gás nobre com um espectrómetro de massa tem ganho uma imensa expressão, podendo ser identificado como o método mais importante atualmente, no que respeita a deteção de fugas [50].

Um sistema típico de vácuo (a hélio) inclui, uma fonte de hélio, uma câmara de vácuo, um bomba de vácuo e um detetor de fugas (neste caso sensível a hélio).

Primeiramente, insere-se o componente a testar na câmara de vácuo, e conectase o mesmo às respetivas conexões pneumáticas, ligando-o a uma fonte de hélio. De seguida faz-se o fecho da câmara e, accionando as bombas de vácuo, evacua-se o ar nela presente. Criando um diferencial de pressão entre a câmara e o interior do componente, é conduzida uma primeira fase na deteção de fugas de maiores dimensões. Caso nenhuma fuga seja detetada nesta primeira análise, o teste procede, passando-se a uma mais completa evacuação do ar presente no componente através de uma bomba de vácuo a ele conectada, alcançando valores de vácuo na ordem dos 20-50 militorr (0.000026-0.000067 bar) [6]. De seguida, a peça é cheia com hélio (ou outro gás inerte, como árgon, entre outros).

No caso da existência de uma fuga no componente, mesmo por muito reduzida que seja, irá permitir a saída de hélio pelas paredes do componente para a câmara de vácuo. Tendo em conta que a câmara de vácuo está diretamente conectada a um sensor de deteção de hélio, este detetará rapidamente a presença de hélio no sistema que, por sua vez, conduz a uma fuga no componente. A precisão dum espectrómetro de massa é altamente influenciada pela capacidade das bombas de vácuo assegurarem um bombeamento constante durante a fase de medição de fugas [71].

Este método de estanquidade é caracterizado como o método mais sensível atualmente no mercado, com uma sensibilidade ímpar abaixo dos  $10^{-8} mbar.l/s$ , ou nas melhores condições, um espectrómetro de massa pode determinar *leak rate* abaixo dos  $10^{-12} mbar.l/s$ . Aliada à sua superioridade de deteção, que permite obter dados indubitavelmente mais fiáveis e quantificáveis, permite uma automatização parcial, ou total de todo o sistema de deteção de fugas, podendo estar integrado diretamente numa linha de produção, ou montagem. Ao contrário de outros métodos, os resultados são completamente independentes do operador, não dependendo do seu juízo e apreciação, o desfecho do teste.

A verdadeira e "única" desvantagem deste sistema assenta no seu preço. Dado o avultado valor de investimento inicial na aquisição de um sistema de vácuo/espectrómetro de massa, apenas certas indústrias mais especializadas e específicas é que optam por adquirir esta tecnologia. O facto de não localizar as fugas em questão constitui, por sua vez, uma inconveniência a estes sistemas, o que não invalida que se integre um *sniffer* manual (Figura 6.2.3), embora com o inconveniente de aumentar ainda mais o custo de operação/aquisição e acrescer a dependência de um operador qualificado [66, 13].



Figura 6.8: Teste de fuga a vácuo, consultada em [66].

## 6.2.5 Testes de fugas a ar

No seguimento do presente subcapítulo abordam-se3dos principais sistemas de teste de fugas com ar:



Figura 6.9: Sistema de teste de fugas a ar, adaptada de [64].

Os equipamentos de teste automático de fugas criam um diferencial de pressão entre a área hermética, ou pressurizada, e o exterior do corpo a ser testado. Existem várias metodologias que cada tipo de teste pode utilizar. Ambos os testes correm um ciclo de teste baseado nas seguintes etapas:

- Enchimento, pressurizando a cavidade sob teste;
- Estabilização do ar na cavidade;
- Registar, se possível, uma tendência de diminuição da pressão de forma a medir a perda de pressão ao longo do tempo  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ .

# Método de perda de pressão $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ - Sistema absoluto

Os métodos de deteção de fugas por perda de pressão são geralmente utilizados em indústrias como canalização, aeroespacial, entre outras [72]. Estes sistemas tanto podem conter um simples manómetro e um compressor, como aparelhos muito mais complexos e dispendiosos.

O método de *pressure decay* (queda de pressão) tem como base uma metodologia de teste relativamente simples. Primeiramente a peça em teste é cheia com ar (ou outro gás) até uma pressão pré-definida. Após a etapa de enchimento dá-se a estabilização. A estabilização corresponde a uma das etapas mais importantes de todo o processo, tendo a mesma um impacto direto na qualidade dos resultados posteriormente obtidos.

Por norma, dependendo do volume e geometria do corpo, esta costuma ser a etapa mais longa de todo o processo. Em seguida, no fim da estabilização, decorre a fase de medição. Esta etapa mede, durante um intervalo de tempo previamente definido, a variação de pressão no interior do sistema em teste  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  (aparelho de medição + tubagens + conexões + componente em teste). Com base na equação 5.13, ou genericamente,  $\frac{Volume \cdot \Delta P}{\Delta t}$ , é possível calcular o caudal de fuga no sistema.

A Figura 6.10 pretende demonstrar as etapas de enchimento, estabilização e medição, que compõem tipicamente um teste de *pressure decay*.



Figura 6.10: Gráfico do ciclo de teste de um método de *pressure decay*, consultado em [73].

A Figura 6.11 exemplifica como seria a curva ideal, na fase de *testing*, de um teste de estanquidade a uma peça com fuga (gráfico da direita) e uma estanque (gráfico da esquerda).



Figura 6.11: Gráfico do ciclo de teste de um método de pressure decay, adaptada de [74].

De modo a calcular uma *leak rate* aceitável, o volume a testar deve ser conhecido, assim como a variação de pressão e o tempo de medição. No caso de um volume de teste elevado, a pressão barométrica deve ser compensada (no caso de um módulo aeroespacial, por exemplo). É importante ter também um especial cuidado com a variação de temperatura, que pode resultar no encobrimento, ou simulação um falsa fuga. O gás a utilizar deve ser preferencialmente seco, de forma a que a humidade não influencie os valores de pressão obtidos.

O limite teórico de sensibilidade da deteção de um método de pressure decay, contrariamente àquilo que seria espectável, não é superior a um teste de bolhas, ou seja, na prática, apenas é possível obter medições em volta de  $10^{-2} mbar.l/s$ , e uma sensibilidade teórica de  $10^{-3} mbar.l/s$ . A principal razão para a capacidade de deteção ser tão "baixa" deve-se essencialmente ao facto de a pressão medida ser dependente das flutuações de temperatura. Mesmo um pequeno aumento de temperatura pode influenciar a deteção de uma dada fuga, levando a que a mesma não seja detetada. Considera-se o seguinte exemplo: se durante a medição de uma peça ao longo de 20 segundos, a temperatura aumentar apenas  $0.1^{\circ}$ C, e se ao todo forem medidos 3L de volume a uma pressão de 2,5 bar, tem-se um aumento da pressão interna para 2,50085 bar. Isto significa que qualquer *leak rate* é mais pequena  $0.13 \, mbar.l/s$  experimentalmente que em comparação com a realidade.

As flutuações de temperatura são as maiores desvantagens da utilização deste sistema, assim como as variações de pressão. A luz solar, o manuseamento das peças durante o teste, alteração mínima de volume (elementos flexíveis), são fatores que têm uma influência drástica na fiabilidade de um teste de perda de pressão [13]. É importante denotar que estes métodos de teste não são aconselhados na avaliação de fugas em componentes flexíveis, ou mesmo tanques de gasolina (a variação de volume dependente da pressão interna resulta em resultados erráticos). No caso da peça em teste ser de reduzidas dimensões (reduzido volume), o abaixamento de pressão é muito mais rápido comparativamente a um peça de volume superior [62].

Apesar de todas as desvantagens aparentes, o seu sistema de funcionamento é relativamente simples, compacto e *friendly user*. É relativamente barata a sua aquisição e os custos de operação estão apenas associados ao consumo de ar comprimido (gás mais frequente na maioria das unidades fabris a utilizar este método de deteção de fugas), o que torna o teste seco e limpo, não danificando nem acrescentando custos adicionais de limpeza após um teste de fugas, aliado também ao facto de não necessitar de qualquer julgamento por parte do operador quanto ao resultado dos testes, apenas sendo necessário seguir as diretrizes de de OK, ou NOK.

Por norma, esta tecnologia de teste é aplicada a componentes de baixos *leak rate*, no entanto, é necessário que estes dispositivos sejam devidamente calibrados, para um correto padrão de *leak rate*. Apenas desta forma é minimamente viável poder testar vários produtos de diferentes volumetrias [75]. Tendo em conta que grande parte dos *leak testers* presentes na GROHE Albergaria funcionam por perda de pressão, e considerando que grande parte deles testa uma ampla variedade de torneiras (com diferentes geometrias e volumes), e com poucas variações de parâmetros, acaba por se tornar um gradual desafio conseguir testar todas as torneiras de igual forma, sem comprometer as atuais diretrizes de qualidade, sendo este o teste preferencial e amplamente utilizando numa série de indústria, incluindo a GROHE, nos teste das suas torneiras [66].

A Figura 6.12 ilustra a metodologia de funcionamento deste sistema. Ao ser detetada uma diminuição de pressão, superior aos limites estabelecidos, é detetada uma fuga no produto em teste.



Figura 6.12: Metodologia de deteção de fuga por abaixamento de pressão, consultada em [13].

#### Diferencial de pressão

Os testes de estanquidade com base em sistemas de diferencial de pressão são atualmente muito utilizados em casos onde é necessário obter a mesma sensibilidade para grandes diferenças de pressão, para uma grande amplitude de volumes, ou quando são realizados testes a elevada pressão (> 20 bar).

O teste de fuga com base no método de diferencial de pressão corresponde, englobando todos os testes de queda de pressão, ao teste mais preciso, mas também mais complexo e complicado de operacionalizar. O funcionamento do teste funciona com base na comparação da pressão do componente em teste com a pressão de um volume padrão de um dado corpo, ou recipiente hermético, cujos valores são previamente conhecidos. Ambos os volumes são cheios simultaneamente, lentamente, com um aumento gradual de pressão, de forma a não provocar um *stress* súbito no medidor de *leak rate*. Este medidor de pressão corresponde a um transdutor, que funciona como uma "membrana" entre os dois volumes (volume de referência e corpo a testar), que em valores de pressão diferencial nula, se encontra num estado de equilíbrio. À mínima variação de pressão entre os dois corpos, a elevada sensibilidade da membrana permite, mesmo por mais pequeno que o seu desvio seja, indicar um diferencial de pressão, correspondendo a uma fuga [76]. Após algum tempo de estabilização da pressão, dá-se início ao teste de pressão diferencial, durante um tempo previamente estabelecido, que indicará o valor de fuga correspondente ao componente em teste.

Caso as dimensões sejam idênticas em ambos os recipientes, existem boas hipóteses da problemática da variação de temperatura ser desprezada, caso ambos os corpos apresentem uma variação de temperatura idêntica, tanto no volume de referência como no corpo em teste.

Com este método é possível obter uma resolução na ordem de 1 mbar numa pressão total de 10 bar [50].

Comparativamente ao sistema de perda de pressão, tem uma capacidade de medição 10 vezes superior, com uma sensibilidade teórica de  $10^{-4} mbar.l/s$ , e  $10^{-3} mbar.l/s$  como limite mais realista numa utilização prática.

Apesar de ser um sistema com ótimos resultados experimentais, também apresenta algumas limitações. Entre elas, é possível destacar o elevado preço de teste (muito mais barato que testes de vácuo, mas substancialmente mais caro que um sistema absoluto de abaixamento de pressão), a complexidade do uso de pneumáticos e uma duração mais longa de teste. Acresce ainda o facto de apresentar uma baixa repetibilidade de teste, pois ao fim de vários ciclos de teste a peça de referência acaba por ficar fatigada, ou acumulando calor de processos de enchimento anteriores, comportando-se de maneira diferente da peça em teste [13].

A Figura 6.13 ilustra, de um modo simples, a comparação que é feita quando testado um certo componente recorrente a um sistema de diferencial de pressão. Deste modo, quando o componente da esquerda (observando a Figura 6.13) tem menos pressão interna que o da direita (componente da esquerda simboliza o corpo a testar e o da direita corresponde ao volume padrão), é detetada uma fuga.



Figura 6.13: Metodologia de diferencial de pressão, consultada em [13].

#### Mass flow test

O sistema de *mass flow test* é utilizado principalmente em peças de grandes volumes, ou de elevada elasticidade. Estes instrumentos de medição medem e registam o fluxo de ar/gás requerido de modo a compensar o ar/gás perdido pela fuga a uma pressão constante durante um período fixo de tempo [77].

No sistema de medição de massa, à semelhança do método de *pressure decay*, a peça em teste é também pressurizada, mas, neste caso, mantém-se sempre conectada à fonte de abastecimento de ar/gás, contrariamente a um método de perda de pressão que, na fase de medição é isolado e desconectado da rede de admissão do meio de teste. Esta metodologia de teste consiste, à semelhança também do método de abaixamento de pressão, numa fase de enchimento, estabilização, teste e descarga.





Assim que o equilíbrio é alcançado e a pressão no interior do corpo é estabilizada, a quantidade de gás inserido no sistema deve ser igual à fuga total que escapa do corpo.

Neste tipo de procedimento, a *leak rate* é medida diretamente e nenhuma conversão é necessária.

Uma das principais vantagens do método de fluxo de massa de ar prende-se com o facto de ser relativamente insensível a variações no volume de teste, não necessitando de ser recalibrado no caso de testar produtos de diferentes volumes. De facto, este sistema de teste não necessita de ser calibrando para qualquer *standard* de fuga pois, conforme foi referido anteriormente, a fuga, independente da sua grandeza, é medida diretamente pelo medidor de fluxo (será prudente, sim proceder a uma calibração periódica, como com qualquer aparelho de medida). Assim sendo, no caso de haver diferentes e distintos componentes em teste na mesma estação, este é, à partida, o melhor método de teste.

No entanto, também apresenta algum problemas. Tendo em conta que todo o procedimento de teste é feito com recurso a um fonte externa de gás/ar, existe a necessidade que a mesma seja estável e não existam quaisquer flutuações na pressão. Também não é o tipo de teste mais indicado para fugas relativamente pequenas, sendo apenas aconselhável para a medição de caudais elevados. Em adição ao sensor de pressão (que também integra o sistema de abaixamento de pressão), necessita de um medidor de fuga, requerendo uma complexidade de válvulas e filtros adicionais, encarecendo e aumentando a dificuldade de implementação. Quanto ao ar admitido no teste, deve haver uma constanticidade do mesmo, devendo ser o mais seco e limpo possível [79, 76, 6, 75].

A Tabela 6.2 demonstra simplificadamente a comparação entre as vantagens e desvantagens de um método de IGLS e de abaixamento de pressão.

Função	IGLS	Pressure decay		
Tipo de medição	Direto, mais preciso,	Indireto, requer calibração		
de fluxo de fuga	independente do volume	frequente dependentedo volume		
Sonsibilidado mávima	0.05 cc/min	Dependente do volume,		
Sensibilidade maxima	0,00 cc/mm	tipicamente $0.5 \text{ cc/min}$		
Estabilidade de medição	Estável, não dependente do volume	Dependente do volume		
e sensibilidade	de teste nem temperatura	de teste e temperatura		
Sensibilidade a	Não dependente da temperatura,	Dependente da temperatura,		
variações ambientais	requer arrelativamente limpo	requer ar relativamente limpo		
Sensibilidade a flutuação	Muito consível	Sistema isolado da linha		
na pressão de admissão	withto sensiver	de admissão de ar		
Tempo de resposta	Rápido (praticamente nulo)	Lento		
Custo operacional	Baixo	Baixo		
Custo de equipamento	Relativamente alto	Relativamente baixo		

Tabela 6.2: Comparação entre o método de fluxo de massa (IGLS) e perda de pressão, adaptade de [6].

A Figura 6.15 faz uma comparação esquemática entre os vários métodos de *leak rate* abordados identificando, de uma forma simplificada, a capacidade de deteção de cada metodologia.



Figura 6.15: Comparação entre vários métodos de deteção de fugas, adaptada de [57].

É importante compreender que quanto menor (mais para a esquerda) estiver posicionado cada método de deteção de fugas, maior é a sua capacidade de deteção.

## Notas finais

Deste modo, após a análise aos métodos de teste preponderantes e atualmente existentes no mercado é possível concluir que a GROHE Albergaria, tem vindo a utilizar aquele que é o método preferencial ao requisitos impostos pelos seis produtos produzidos (torneiras), utilizando maioritariamente, aliado ao método de *bubble testing*, equipamentos equipados com métodos de *pressure decay*. Devido à extensa rede de ar-comprimido instalada na unidade fabril, assim como capacidade de repetibilidade de testes, preço de operação, e sensibilidade de deteção adequada à deteção de fugas em torneiras, não é relevante sugerir que seja feita uma reformulação ou introdução de um novo método de deteção de fugas.

# 6.3 Erros mais comuns de *leak testing*

Este subcapítulo tem como objetivo enumerar alguns dos erros mais comuns em testes de deteção de fugas. Por ano, são conduzidos milhões de testes de fugas, numa incontável quantidades de produtos, de diversas exigências mecânicas, físicas, químicas, entre outras. De forma a que estes testes sejam devidamente conduzidos, devem de ser evitados os seguintes erros [13]:

- Método de teste incorreto: por vezes, a simples escolha de um tipo de teste desadequado à indústria em questão pode conduzir a resultados errados, com pouca precisão. Deve de ser considerado um vasto leque de fatores, como as características do produto em teste, assim como um intervalo ajustado de valores de *leak rate* a medir;
- Seleção do melhor momento para conduzir um teste de fugas: o teste de fugas deverá de ser incorporado no momento ideal num dado processo de produção.

Dependendo do produto em questão, será mais vantajoso testar individualmente cada um dos componentes que o compõe, ou assim como testar antes, durante, ou após o produto já se encontrar montado. Transpondo para a GROHE, este teste é feito praticamente no fim da linha de montagem de uma dada torneira, quando todos os componentes críticos (com possibilidade de fuga) já se encontram acoplados ao corpo da mesma;

- Peça contaminada: o teste de fugas deve de ser efetuado em peças limpas, e secas. A existência de água nas peças pode induzir em erro o resultado final de um teste de fugas, camuflando a sua existência, preenchendo um possível furo. Tendo em conta que a água apresenta uma tensão superficial superior à do ar, não será expectável que o ar consiga atravessar um defeito coberto por água, a não ser que consiga ultrapassar a tensão superficial da agua [52];
- Variações de temperatura ignoradas: tal como explicado 6.15, as flutuações de temperatura têm um impacto negativamente considerável na capacidade de medição dos testes de fuga, nomeadamente em métodos de abaixamento de pressão e de pressão diferencial;
- Flutuações de pressão durante o teste de fugas/fase de escape: para testar todas as peças de um dado produto será importante que todos os testes mantenham a mesma pressão ao longo das várias etapas que o compõem. O facto de, por vezes, ser negligenciada a fase de exaustão leva a que exista um aumento de pressão em testes posteriores, potenciando resultados menos precisos e corretos;
- Não compreender o que está a ser testado: Perceber em que zonas está a ocorrer o teste em concreto. Na GROHE é de extrema importância compreender as diferentes etapas de testes, e quais os canais testados em cada uma das diferentes fases de *leak testing*;
- Negligenciar a manutenção do dispositivo de medição de fugas: é importante uma manutenção preventiva de todo o equipamento dedicado ao teste de fugas, incluindo o aparelho de medida e respetiva calibração, bancada de teste e diversas conexões;
- Parametrização incorreta do teste: um dos pontos chave deste relatório consiste em assegurar uma devida parametrização dos testes de fugas. É importante perceber que, novamente mencionado a indústria das torneiras, mais concretamente a empresa GROHE, a necessidade de haver uma parametrização relativamente rígida e pouco permissiva de fugas, deve-se ao facto de, sendo estes produtos de consumo com uma vida útil bastante elevada, ser necessário assegurar que a mesma é estendida o máximo possível. Assim sendo, havendo um elevado rigor e restrição de parâmetros de estanquidade, é de certo modo garantido um prolongamento da longevidade das torneiras;
- Não procurar aconselhamento profissional: por vezes é essencial o apoio e suporte profissional na escolha e seleção da tecnologia e equipamentos de medição de fuga mais corretos para uma dada função. Tentar poupar custos em apoio profissional pode acarretar despesas muito superiores, caso seja tomada uma decisão menos acertada na aquisição de um dispendioso equipamento que não cumpra, ou não seja o mais adequado para uma dada situação, ou para um dado produto.

# Capítulo 7

# Diagnóstico, e propostas de melhoria

No presente capítulo são analisados problemas, falhas e possíveis causas, com reflexo e impacto direto na metodologia e resultados dos testes de fugas. O principal foco tem como base uma avaliação detalhada aos parâmetros e métodos de deteção fuga, pelos quais a GROHE se rege atualmente.

É também sugerido, com base nos resultados obtidos da análise aos diferentes sistemas e parametrização dos testes de estanquidade, uma metodologia e parâmetros otimizados a cada torneira, ou conjuntos de torneiras (de diferentes *streams*).

Algumas das experimentações, teorias e casos de estudo conduzidos ao longo de todo o estágio, são consolidadas no presente Capítulo. São feitas algumas observações pertinentes que auxiliem um melhor perceção e compreensão de tralhado desenvolvido no âmbito do estágio.

## 7.1 Análise crítica dos problemas na medição de fugas na GROHE

A metodologia de definição dos parâmetros que regem a medição de fugas atualmente em vigor na GROHE não tem sofrido praticamente qualquer tipo de alteração nos últimos anos. Desde que a GROHE começou por instalar equipamentos de *pressure decay*, nunca foi feito um estudo tão detalhado que medisse, avaliasse e estipulasse a metodologia ideal para definir os parâmetros de estanquidade. Embora sempre tivessem existido orientações por parte de Hemer (sede da GROHE AG, na Alemanha) e departamento de R&D, não há nenhuma especificação de teste em concreto para cada produto, e tão aprofundada como neste relatório.

No entanto, departamentos como a engenharia, qualidade, produção, e até mesmo chefias e afinadores, têm-se interrogado quanto à possibilidade de haver algumas inconformidades mais recorrentes de algumas torneiras, que pudessem ser mais facilmente detetadas, ou de uma outra prespectiva, não tão recorrentemente reprovadas, a partir de uma otimização dos testes de estanquidade.

Mesmo com o desenvolvimento e fabricação de novos produtos, o método de aferição dos parâmetros de estanquidade tem sido sempre feito de um modo um pouco empírico, com base na experiência da engenharia, produção e qualidade, que definem e preenchem as fichas de parâmetros, muito com base em modelos idênticos anteriormente produzidos. A Figura 7.1 exemplifica uma ficha de parâmetros de uma torneira termostática, folha esta que define o procedimento e parâmetros nos equipamentos de leak testing.



Figura 7.1: Ficha de parâmetros de teste de estanguidade Fortest.

Este *template* de ficha de parâmetros está preparado para testes realizados apenas em equipamentos Fortest, podendo ser adaptado para o teste de qualquer torneira produzida/montada na unidade fabril.

Estes guias de *leak testing* foram adaptados primeiramente por folhas de parâmetros fornecidas pelo R&D sediado em Hemer (Alemanha), tendo sido posteriormente adaptados à fábrica de Albergaria e, por fim, após experimentação, traduzidos em fichas de parâmetros finais mais otimizadas para o produto em questão.

Outro dos motivos que tem vindo a revelar a vulnerabilidade quanto à parametrização do teste de fuga de vários produtos prende-se com o facto de, por vezes, torneiras com fugas claramente visíveis e detetáveis por meios como bubble testing, serem dadas como "OK" nas bancadas de teste (por métodos de abaixamento de pressão). Isto leva a que, muitas vezes, por desconhecimento de alguns colaboradores, os métodos sejam alterados, "manipulando" valores de variação de pressão, tempos de enchimento, estabilização, variação temporal, entre outros.

Existem modelos de torneiras que, devido a uma elevada aceitação do mercado, ainda se mantêm em fabricação/montagem desde há vários anos na GROHE, não tendo sido descontinuados até à data. Devido a uma elevada rotatividade de colaboradores que se verifica na empresa, muito do conhecimento e melhores técnicas de trabalho (no caso de alguns produtos em concreto) têm-se vindo a perder, não tendo sido devidamente documentados e formado colaboradores em relação a algumas medidas e técnicas que auxiliem à produção, qualidade, e em particular, deteção de fugas. Uma das principais vantagens deste relatório, na perspetiva de interesse para a unidade fabril da GROHE Albergaria,

foca-se precisamente neste aspeto. Fica desta forma assegurado um documento devidamente corrigido e revisto, abordando a parametrização de testes de estanquidade para a maioria das torneiras atualmente em produção.

#### Principais problemas encontrados:

- Ficha de parâmetros;
- Parametrização muito generalista e não optimizada a cada stream/torneira em questão;
- Pouco conhecimento interno e chamada de atenção para a temática de *leak testing*.

### 7.1.1 Parametrização e calibração dos equipamentos de teste de fuga

Este Subcapítulo tem como objetivo explicar o procedimento que rege a parametrização anual dos equipamentos de deteção de fuga, atualmente em vigor na GROHE Albergaria.

Apesar de aparentemente pouco relevante, a torneira presente na Figura 7.2 teve uma grande importância para o âmbito deste estágio. O seu aspeto deve-se às condições a que esta esteve sujeita durante a análise do processo de calibração, assim como o longo período de tempo que esteve inerente ao mesmo.



Figura 7.2: Torneira de calibração de parâmetros.

A torneira presente na Figura 7.2 foi um dos pontos de partida para uma reformulação dos parâmetros de calibração e parametrização de equipamentos de medição de fugas, assim como para uma chamada de atenção para a importância e consequências que a calibração pode acarretar.

Durante o período inicial do estágio curricular, ainda durante a fase de familiarização com as metodologias e práticas da empresa, foi reportado por operadoras de linha a montagem de uma torneira com uma possível fuga. Este alerta foi identificada através de formação de bolhas durante o teste de fugas (pelo método de *bubble testing*), embora

a mesma fosse impercetível ao equipamento Fortest. Isto levou a que se procurasse perceber a origem de tamanha e tão evidente inconformidade.

O aparelho de medição de fugas acabou por ser retirado da linha de montagem, tendo sido de seguida reencaminhado ao departamento de manutenção, de forma a ser feita uma análise aos parâmetros de calibração e correto funcionamento do dispositivo. Confirmada a integridade e bom funcionamento do aparelho, restou investigar pormenorizadamente os parâmetros de calibração dos equipamentos de medição de fugas, nomeadamente dos equipamentos Fortest. A partir da imagem em Anexo A.2, é possível seguir, passo a passo, a metodologia de calibração atualmente em vigor na GROHE.

Os equipamentos necessários para a correta calibração dos equipamentos de *pressure* decay estão expostos na Figura 7.5. A hand pump presente na imagem foi adquirida juntamente com o dispositivo Fortest, assim como um *microflow calibrator*.

A necessidade de aquisição destes equipamentos, resultou da investigação e validação do processo de calibração, apresentado no presente Subcapítulo, juntamente com o trabalho desenvolvido no Subcapítulo 7.2.

De forma a conduzir uma calibração apropriada dos equipamentos de medição de fugas, nomeadamente os aparelhos *Fortest*, é importante seguir os seguintes passos.

#### PASSOS:

Primeiramente, é necessário ativar o modo de teste manual. Nas linhas de montagem, todos os equipamentos de calibração estão predefinidos para funcionar em modo "autómato". É o mesmo que controla o funcionamento da bancada e de todos os *gabarits* de teste, fazendo o acionamento automático dos mesmos.

Nos equipamentos de *pressure decay* há a possibilidade de fazer uma calibração a dois modos distintos, o modo de pressão direta e modo de pressão diferencial. A calibração do modo de pressão direta é responsável por estabelecer as pressões de teste, e a sua correta leitura por parte do equipamento de medição de fugas. Por sua vez, o modo de pressão diferencial permite calibrar a capacidade de medição do abaixamento de pressão, de neste caso, o equipamento *Fortest*.

#### Calibração do modo de pressão direta

Para assegurar uma melhor calibração possível, desconecta-se toda a tubagem conectada ao equipamento a calibrar, com todas as saídas e entradas de ar expostas à pressão ambiente. Nestas condições é definida a pressão zero no equipamento *Fortest*, ou seja, o início de escala.

Posto isto, define-se o fim de escala. Para tal, conecta-se o dispositivo Mecotec, mostrado na Figura 7.5, à *Test Port*, ou seja, porta de teste do Fortest, enquanto se define o Fortest para uma evacuação contínua de ar. Deste modo, consegue-se fazer a comparação entre a pressão "despejada" lida pelo *Mecotec* e a pressão lida pelo *Fortest*.

O equipamento exemplo deste procedimento tem como pressão admissível máxima o valor de 6 bar, enquanto os equipamentos mais recentes apenas atingem os 3 bar. Tendo em conta que a linha de abastecimento interna de ar comprimido da GROHE não assegura os 6 bar, o máximo que foi possível obter no Fortest foi de 5,15 bar, tal como mostrado na Figura 7.3. Como é possível observar, o *Mecotec* não registou exatamente o mesmo valor de pressão que o Fortest, mas admitindo mais algum tempo de estabilização, o valor aproximar-se-ia. Tem-se assim definido o valor de fim de escala.



Figura 7.3: Calibração direta com recurso ao dispositivo Mecotec.

De seguida, tal como mostrado na Figura 7.4, o processo de certificação de calibração consiste em variar a pressão de admissão de ar no Fortest, e registar simultaneamente o valor lido, tanto pelo Mecotec como pelo Fortest. São feitos ao todo 3 conjuntos de medições, sendo a primeira de 1,5 bar até 6 bar, a segunda medição de 6 bar a 1,5 bar e a terceira apenas a 3 bar.

GROHE	Certificado de Calibr	Data: № Certificado: Página:	23/02/2018 : <b>TE 13/2018</b> 1/1				
Identificação do Equ	lipamento						
Equipamento	Teste de Estanquidade	Тіро	ET99M				
Equipamento n.º	876.A74.80						
Marca	Fortest	Nº de Série	002660				
Equipamento Utilizado							

pamento Utilizado

Manómetro Digital DP 200, nº 876.A71.32

Referências

Calibração efectuada segundo a Instrução de Trabalho AL-60-50-36/0

Resultados Obtidos

bar	Fortest	Mecotec
1,5	1,49	1,48
3	3,00	2,99
4,5	4,51	4,50
6	5,51	5,51
bar	Fortest	Mecotec
6	5,49	5,49
4,5	4,52	4,52
3	3,03	3,02
1.5	1.55	1.54
	1,5 3 4,5 6 bar 6 4,5 3 1,5	1,5 1,49   3 3,00   4,5 4,51   6 5,51   bar Fortest   6 5,49   4,5 4,52   3 3,03   1,5 1,55

Figura 7.4: Certificado de calibração de equipamentos *Fortest* em utilização na GROHE Albergaria.

Após o certificado de calibração estar devidamente preenchido, é enviado para o departamento de qualidade para ser aprovado. No caso de haver, numa só medição, uma diferença superior a 1% entre o valor lido pelo *Fortest* e o *Mecotec*, o certificado é reprovado, sendo posteriormente necessária uma nova calibração, ou seja, definir novamente uma pressão "zero" e pressão máxima., ou seja, início e fim de escala.

#### Calibração do modo de pressão diferencial

Tal como no modo de "pressão direta", a primeira etapa para a calibração da "pressão diferencial" começa por definir-se o ponto zero do aparelho, removendo todas as ligações, expondo as saídas e entradas de ar à pressão atmosférica.

De seguida conecta-se em paralelo a hand pump e o dispositivo Mecotec à entrada de teste (In Air) do Fortest, conforme mostrado na Figura 7.5.



Figura 7.5: Ligação em paralelo dos dispositivos mecotec e hand pump.

Neste modo de calibração, faz-se a admissão de ar utilizando a hand pump pela porta In Air, enquanto o Mecotec lê o valor de pressão bombeado, sendo posteriormente apenas indicado no Fortest o valor de pressão que está a ser admitida no mesmo. Por norma, o valor gerado pela bomba situa-se nos  $0,55\,mbar$ .

Tal como mostrado na Figura 7.6, embora as unidade lidas pelo aparelho Mecotec sejam dadas em mbar/bar, o Fortest apenas aceita valores em Pa, ou seja, é necessário ter em mente a seguinte relação: 1 mbar = 100 Pascal.

A relação de unidade acima esteve na causa da falha na deteção da torneira com fuga, da Figura 7.2. Acontece que o Fortest tinha sido anteriormente incorretamente calibrado, tendo sido considerada uma relação de 1 mbar = 1000 Pal, ou seja, 54.000 Pa em vez de 5.400 Pa. Este foi o fator que esteve por base da incorreta calibração do *Fortest*, tendo as torneira em questão (Figura 7.2), algumas características excecionais que permitiram detetar esta falha de calibração de uma forma tão clara.



Figura 7.6: Calibração do modo diferencial.

Após uma <u>devida</u> calibração efetuada, como forma de assegurar que todos os equipamentos, de características idênticas, estão devidamente calibrados, recorrese a uma "fuga padrão", tal como indicado na Figura ao lado.



Figura 7.7: Fuga padrão CETA.

Esta fuga padrão, presente na Figura 7.7 corresponde a uma fuga com um valor de *leak rate* conhecido (4.02 cc/min), para uma dada pressão (3 bar) de teste. Com o recurso a um tubo de volumetria constante (100 cc), e com auxílio na equação 5.13, é possível fazer o seguinte exercício:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{4.02 \, cc/min}{100 \, cc \, (volume \, do \, tubo)} \cdot 1666, 7 \leftrightarrow \frac{\Delta P}{\Delta t} = 67 \, Pa/s = \frac{134 \, Pa}{2 \, s}$$

Assim sendo, de uma forma rápida e conveniente, é possível testar todos os aparelhos de medição de fugas (*pressure decay*), ligando apenas esta fuga padrão e o tubo de volume padrão (100 cc) aos mesmos. Caso o abaixamento de pressão final lido pelo dispositivo de fugas esteja compreendido entre 120 - 140 Pa (próximo do valor de 134 Pa/s obtido pela formulação acima), então o teste pode ser dado como conforme e devidamente calibrado,.

Após verificação de outros equipamentos calibrados anteriormente a este diagnóstico, constatou-se que alguns já tinha sido incorretamente intervencionados, estando com os parâmetros de "modo diferencial" indevidamente calibrados.

A calibração do modo diferencial deverá apenas de ser conduzida por colaboradores com formação para a fazer (tal como explicado no procedimento acima), e se houver necessidade para tal (caso o aparelho nunca tenha sido devidamente calibrado).

Em anexo, na Figura A.2 é possível verificar o procedimento de calibração atual, com especial ênfase nas linhas que referem como calibrar o modo diferencial, embora de uma maneira incorreta.

# 7.2 Procedimento experimental

Neste Subcapítulo é feita a comparação e entre o procedimento de teste analógico (Subcapítulo 7.2.1) e o procedimento de teste digital (Subcapítulo 7.2.3). O teste analógico é referente à medição dos volumes internos dos corpos das torneiras, com recurso a uma seringa graduada, e o processo digital é alusivo também à medição dos volumes internos das torneiras, mas através de um equipamento de deteção de fugas *Fortest*. Ambos os procedimentos foram conduzidos na GROHE Albergaria, em etapas diferentes do estágio curricular.

## 7.2.1 Teste analógico

Após grande parte dos conhecimentos teóricos consolidados, assim como a compreensão das variáveis integrantes e métodos de cálculo de *leak rate*, começou-se por avaliar o "ponto de situação" no qual a GROHE se encontrava. Para tal, tendo como base a formulação da Equação 5.13, procedeu-se primeiramente à medição dos volumes internos de todos os canais de uma série de modelos de torneiras. Conforme descrito em capítulos anteriores, o volume de teste é um dos fatores com maior impacto no que diz respeito à determinação de fugas, principalmente num teste de *pressure decay*, que corresponde à generalidade dos testes instalados na GROHE. Para tal, procedeu-se primeiramente à medição de volumes.

A medição dos volumes foi feita primeiramente com recurso a uma seringa de  $50 \, ml$ . A Figura 7.8 ilustra o procedimento efetuado:



Figura 7.8: Medição de volumes com seringa.

Tendo em conta que o processo de medição de volume, numa primeira fase, inteiramente manual, foi importante perceber o funcionamento de cada torneira e a melhor maneira de medir o volume de cada uma. Cada torneira tem uma geometria e disposição diferente de canais, assim como cartuchos com diferentes funcionamentos e dimensões (termostáticos e "normais"), tal como componentes distintos em várias das torneiras. Posto isto, com recurso ao *software SAP*, foi possível consultar os vários *CAD*'s de diferentes torneiras e fazer cortes virtuais nos corpos e perceber onde, e como deveria ser medida cada torneira, simulando da melhor forma os procedimentos de teste (cartucho aberto, cartucho fechado e *cross flow*).

A Figura 7.9 exemplifica como foi tomada nota dos diferentes volumes de canais, sabendo precisar a sua localização e dimensão.



Figura 7.9: Corte no CAD de uma torneira de banheira.

Após a medição do volume de todos os canais de uma dada torneira, os valores obtidos foram transpostos para uma folha de cálculo de Excel, com o fim de criar uma base de dados abrangente de todas as torneiras medidas e alvo de teste. A Tabela 7.1

exemplifica o esquema usado em Excel para o registo das diferentes volumetrias para os vários tipos de teste aos quais as torneiras GROHE são submetidas (o corpo em questão é o mesmo da Figura 7.9):

Stream	SKU	Descrição torneira	Descrição dos canais de água	Volumes [ml]	Condições de Teste	Descrição condições de teste de fugas	Volume de teste [ml]					
			Água quente	15,0	Cartucho fechado	Admissão de ar em ambos os tubos	62,5					
Banho 406862040										Água fria	47,5	Cartucho aberto
	Chuveiro OHM Euphoria	Mistura - chuveiro	32,0	Cartucho aberto	Admissão em ambos os tubos, <i>aquadimmer</i> rodado em sentido anti-horário, inversor em posição inicial, saída chuveiro de parede descoberta, emulsor tamponado	114,5						
		Mist	Mistura - bica	52,0	Cartucho aberto	Admissão em ambos os tubos, aquadimmer rodado em sentido anti-horário, inversor levantado, saída chuveiro parede descoberta, emulsor descoberto, saída chuveiro tamponada	85,5					
			Mistura - inversor	23,0	Cross flow	Admissão no canal de água quente, outro canal descoberto, cartucho fechado	15,0					

Tabela 7.1: Tabela de volumes	e especificações	de teste	/torneiras.
-------------------------------	------------------	----------	-------------

Primeiramente, a título de nota, um *aquadimmer* tal como representado na Figura 7.10 corresponde a uma espécie de castelo que permite direcionar a água para diferentes pontos de saída da torneira (emulsor, saída duche e duche parede).



Figura 7.10: Aquadimmer, consultada em [80].

A Tabela 7.1 é composta por 8 colunas, disposta por duas secções distintas. A coluna stream diz respeito ao grupo de utilização da torneira, neste caso corresponde a uma torneira de casa de banho. O SKU corresponde ao número de referência do modelo em teste. Deste modo a consulta em SAP e registos internos torna-se muito mais fácil. A descrição dos canais de água serviu como guia para o cálculo do volume da peça final. Assim era possível, através de uma figura idêntica à Figura 7.9, perceber qual o volume medido. A coluna de "Volumes" diz respeito ao somatório dos volumes referentes aos diferentes canais de água medidos (somatório no caso de ter sido uma medição composta por várias medições).

A segunda secção da da Tabela 7.1 tenta, de certo modo, replicar a forma como os testes de estanquidade de *pressure decay* procedem na GROHE. Conforme explicado acima, são feitos três tipos de teste: cartucho fechado, cartucho aberto e *cross flow*. Consultando a folha de *Excel* presente em Anexo, folha esta retirada do *sharepoint* 

da GROHE, que permite a consulta de diversas parâmetros e especificações de testes disponíveis a todos os colaboradores autorizados da empresa, foi possível completar a tabela de acordo com os requisitos de teste e fazer uma transposição da metodologia de teste.

A coluna "Descrição de condições de teste de fugas" diz respeito a estes parâmetros, fazendo uma analogia com as condições de teste. A última coluna, "Volume de teste", corresponde ao somatório dos respetivos volumes testados na linha, como por exemplo, nas condições de teste *cartucho fechado*, o volume é de 62,5 ml (15,0 ml + 47,5 ml + 32,0 ml).

Importante referir que, de modo a aproximar ao teste feito nas linhas de montagem, foi adicionado também o valor médio do volume das tubagens que fazem a ligação das bancadas de teste aos aparelhos de medida.

Novamente, através do sharepoint da GROHE, foi possível ter acesso ao ficheiro Leak Test Overview AL170727. Neste documento Excel constam valores de comparação de teste, como o máximo valor de variação de pressão admissível de um teste de fugas a ar, assim como o tempo de medição para o respetivo  $\Delta P$ . Desta forma, tem-se a relação  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ . Embora seja possível encontrar este PDF no anexo A, Figura 7.27, a Tabela 7.2 demonstra simplificadamente aquilo que é possível observar no PDF em anexo.

Tal como é possível visualizar na Tabela 7.2, encontra-se exemplificativamente, apenas para torneiras de banho, as especificações de teste de fuga para a unidade fabril de Albergaria, assim como diretrizes gerais do departamento de R&D de Hemer.

prod. familie	$ ext{testing} \\  ext{conditions} \\$	accuracy	set pressure	Fill time	Stab time	Test time [s]	Dump time	Limt value [Pa]
		ALI	BERGARIA					
Banho Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is closed	midle	3	5	5	1,5	0	150
Bath Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	midle	3	5	5	1,5	0	150
Bath Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is closed, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is open to the ambient pressure	high	3	1	1	$1,\!5$	0	80
Bath Essence	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low	3	1	1	1,5	0	80
			HEMER					
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is closed	midle	3	5	7	$^{1,5}$	0	150
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	midle	3	3	6	1,5	0	150
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is closed, the diverter is pull to shower outlet , the shower outlet is open to the ambient pressure	high	3	0	1	2	0	150
Bath	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low	3	0	1	1	0	150

Tabela 7.2: Perspetiva geral dos valores de comparação de *Leak Test Overview* AL170727.

Com os valores de  $\Delta P$  e  $\Delta t$  adquiridos pelo ficheiro *Leak Test Overview AL*170727 foi possível fazer uma primeira abordagem, e perceber o ponto de situação, quem embora à partida fosse pouco preciso, daria uma boa aproximação do estado atual, quanto ao rigor nos testes de estanquidade por parte da GROHE Albergaria. Na Figura A.4, presente nos anexos, é possível verificar todas as torneiras testadas (pelo método de seringa), assim como os respetivos valores de *leak rate* obtidos por aplicação da Equação 5.13.

Para fazer o cálculo do *leak rate* é necessário considerar os seguintes pressupostos.

- Volumes de canais de água para diferentes torneiras, de diferentes streams;
- Diferenciais de pressão e tempo, condições de teste e parâmetros;
- Diferentes critérios de teste cartucho aberto, fechado e *crossflow*.
Idealmente, de forma a assegurar que todas as torneiras cumprem os mesmos requisitos de estanquidade, e por conseguinte, de qualidade, é expectável que todas sejam avaliadas com um valor de *leak rate* o mais próximo possível.

Foram utilizados histogramas e curvas de dispersão de forma a efetuar uma avaliação correta e mais visual dos valores de *leak rate* obtidos, considerando as diferentes torneiras avaliadas e de características distintas.

Segue-se uma análise detalhada aos resultados obtidos para cada uma das tipologias de teste (cartucho fechado, cartucho aberto e *cross flow*), com curvas e gráficos construídos em *Excel*.

Primeiramente, é importante compreender os vários tipos de teste: cartucho fechado, cartucho aberto, e *crossflow*. Todas as torneiras são equipadas com cartuchos. Os mesmo são responsáveis por permitir a passagem da água (ou ar, nomeadamente durante os testes de estanquidade) pelo interior da torneira, assim como ajustar a quantidade de água quente e fria, conforme seja a temperatura pretendida final da mistura. Assim sendo, um teste de estanquidade de "cartucho fechado" tem como base apenas um teste nos canais de admissão da torneira, até ao cartucho. Um teste de "cartucho aberto", permite testar simultaneamente os canais de admissão, assim como toda a torneira. Um teste de "*crossflow*", baseia-se na averiguação quanto à estanquidade de uma torneira, quando apenas é admitido ar pelo canal de água quente.

#### Cartucho fechado

O gráfico presente na Figura 7.11 relaciona a quantidade de torneiras com um valor de *leak rate* correspondente, para testes em cartucho fechado, na unidade de fabrico GROHE Albergaria.



Figura 7.11: Histograma cartucho fechado, GROHE Albergaria.



Na Figura 7.12 apresenta-se o histograma de valores, assim como a curva de dispersão, referente às indicações de Hemer para teste de fugas.

Figura 7.12: Histograma cartucho fechado, GROHE Hemer.

Conforme é possível observar na Tabela 7.2, a parametrização dos testes para Albergaria são diferentes dos de Hemer. Isto resulta evidentemente em valores relativamente distintos, com uma subsequente disparidade entre histogramas.

Para uma adequada realização e interpretação dos gráficos de suporte à análise feita (tal como as Figuras 7.11 e 7.12 mencionadas acima), foi importante ter como base algumas noções teóricas de estatística. A Tabela 7.3 serviu como auxiliar ao gráfico de cartucho fechado, para as condições na GROHE Albergaria, Figura 7.11. É de salientar o método de cálculo do n<sup>o</sup> de classes, que se baseou na regra de Sturges (regra do logaritmo), e que ditou o valor ideal de classes para a abrangência de valores tratados [81]. Na Tabela 7.3, os valores da zona rosa da tabela foram calculados com o fim de desenhar a curva de dispersão de valores de *leak rate*, tendo em conta a totalidade de torneiras cuja a taxa de fuga foi medida. Ao centro, a verde, está explícito o cálculo do n<sup>o</sup> de classes, e à direita, a azul, o corte (aos [cc/min]) e a frequência (n<sup>o</sup> de torneiras), para desenhar o histograma de valores.

N⁰	Leak Rate	Valor	FDM			R.Strugers	4,88	Amplitude	0,93	Classe	Corte	Frequência
1	1,36	1,675	0,117	Mínimo	1,36	Regra da Potência	3,90	Limites Inferiores	Limites Superiores	1	2,30	3
2	1,97	1,985	0,158	Máximo	6,02	Bom Senso	5,00	1,36	2,30	2	3,23	4
3	2,18	2,296	0,201	Média	3,49			2,30	3,23	3	4,16	5
4	2,39	2,607	0,243	Mediana	3,53			3,23	4,16	4	5,09	1
5	2,85	2,917	0,277	Tamanho (n)	15,00			4,16	5,09	5	6,02	2
6	2,85	3,228	0,298	Est. Classes	3,87			5,09	6,04			
7	3,10	3,538	0,304	Classes	5							
8	3,53	3,849	0,292	Amplitude	0,93							
9	3,92	4,160	0,266	Desv Pad	1,31							
10	3,97	4,470	0,229	Incremento2	0,31							
11	4,00	4,781	0,187									
12	4,07	5,092	0,144									
13	4,23	5,402	0,105									
14	5,82	5,713	0,072	1								
15	6,02	6,024	0,047									

Tabela 7.3: Tabela de auxílio à estruturação dos gráficos.

É notória a diferença entre as Figuras 7.11 e 7.12.

Primeiramente, a assimetria de ambos é completamente diferente, apresentando o gráfico de Hemer uma assimetria de valores substancialmente mais "forte" que o gráfico de Albergaria. A assimetria de Pearson é calculada fazendo  $\left|3 \times \left(\frac{M\acute{e}dia-Mediana}{DevioPadrão}\right)\right|$ .

Assimétrica moderada: 0,15<|As|<1 Assimétrica forte: |As|>1

Fazendo o cálculo da fórmula, o valor de Assimetria de Pearson para os valores de *leak rate* na GROHE de Albergaria totaliza um valor de 0,10, quanto que Hemer, o resultado final é de 0,86. Ou seja, quanto mais próximo for o valor de 1, ou superior, mais assimétricos são os dados, conduzindo numa maior dispersão de valores.

Logo a partir desta primeira abordagem, é possível perceber que os valores de *leak* rate estão muito dispares, havendo à partida, torneiras a serem testadas em excesso e outras em escassez. A partir do gráfico 7.11, depreende-se rapidamente que pelo menos 4 torneiras (mais à direita) estão completamente fora dos parâmetros ideais de teste, limites esse que poderiam ser impostos como 4, 5 cc/min, como valor máximo admissível de taxa de fuga.

#### Cartucho aberto

De seguida, fez-se uma análise para o teste em cartucho aberto. Tal como é possível observar na Tabela 7.2, as diretrizes de teste para cartucho aberto são iguais, tanto para Albergaria como Hemer.

Deste modo, apenas se traçou um gráfico com o fim de perceber o realidade em relação aos testes de fuga na GROHE, para testes a torneira quando o cartucho está aberto. A Figura 7.13 representa essa mesma relação.



Figura 7.13: Histograma cartucho aberto, GROHE Albergaria.

Como é possível observar, existe uma ampla distribuição de valores de *leak rate*, sensivelmente ente 4, 4 cc/min e os 13, 2 cc/min. O valor de assimetria resultante totalizou 1,04, portanto como é possível comprovar pelas contas, uma assimetria forte. As fugas de grande parte das torneiras estão compreendidas entre 5 cc/min e 8, 5 cc/min

Nesta primeira fase não se procurou perceber quais os modelos em concreto com uma maior assimetria de valores de *leak rate*, mas sim fazer uma comparação e uma primeira análise, assente na exatidão e erros associados ao processo de medição com a seringa, ao estado de situação e comparação de critérios de testes de fuga.

Importante também referir que, tal como é possível observar pela comparação de ambos os gráficos de cartucho aberto e cartucho fechado, o "número de torneiras" em análise é substancialmente superior nos testes de cartucho aberto. Isto deve-se exclusivamente à geometria das torneiras em que, para se fazer um teste de cartucho aberto, é preciso testar vários canais, em etapas de teste distintas.

Utilizando a Figura 7.14 como exemplo, no caso de teste de estanquidade desta torneira em cartucho aberto é necessário testar três canais de possível fuga de ar, como a zona do emulsor, do inversor e do chuveiro.



Figura 7.14: Torneira banheira com canais de saída identificados.

Assim, embora o eixo das ordenadas seja referente ao *número de torneiras* avaliadas, na realidade, corresponde ao número de testes feitos, não invalidando que existam torneiras com um, ou mais canais em teste.

É importante salientar que, como o valor das câmaras nesta primeira avaliação resultou de medições com a seringa, vários são os possíveis erros associados ao procedimento experimental.

# Principais erros associados a uma medição do volume das câmaras com seringa:

- A resolução do aparelho de medida (<sup>1</sup>/<sub>2</sub> × 1 cc), associado ao erro numa medição com uma seringa (igual á diferença entre o resultado da medição e o valor verdadeiro) condicionam a fidelidade dos resultados obtidos [82];
- Devido à geometria dos canais internos das torneiras, por vezes tornava-se difícil a aferição do volume de um só canal, garantindo que não haveria água em nenhum outro canal do corpo, deturpando os resultados finais;
- A medição da volumetria dos canais é altamente dependente da perceção da pessoa que a realiza. Desta forma, a exatidão dos resultados poderá estar comprometida;
- Tendo em conta que o teste se fez com água, o desperdício e sujidade inerente ao processo de medição é significativo, comparativamente a um teste com ar.

De uma forma geral, os dados obtidos, embora grosseiros e não tendo sido aplicados a um grande número de torneiras (comparado com os resultados obtidos posteriormente, analisados na sequência do presente subcapítulo), revelaram-se surpreendentemente conclusivos, tendo mesmo apontando as torneiras termostáticas como os modelos com uma maior dispersão de taxa de fuga, expondo possivelmente um dos motivos para serem dos modelos de torneiras GROHE, com mais reclamações do cliente. É possível verificar na Tabela A.7, a lista dos modelos de torneiras GROHE, fabricadas em Albergaria, com um maior índice de reclamações de clientes.

Aparentemente, devido à política de reclamações da GROHE, no caso de haver um possível defeito numa dada torneira o cliente tem direito a uma troca imediata, de uma torneira nova pela sua "defeituosa". É feita um inspeção à possível inconformidade da torneira, e no caso de não ser possível a detetar, ela é enviada para a GROHE Albergaria para ser testada no laboratório de hidráulica. Portanto, é com base no número de torneiras que são devolvidas à unidade fabril de Albergaria, que é feito um registo primário dos modelos com uma maior incidência de reclamações.

#### 7.2.2 Validação dos equipamentos adquiridos

Dada a conformidade dos resultados do teste analógico (seringa), conclui-se que a aquisição de um equipamento de fugas, a ser primeiramente utilizado exclusivamente no intuito deste estágio, seria justificável. Posteriormente, após a finalização do estágio, seria utilizado principalmente pelo departamento de qualidade, como forma de validar alguma torneira/conceito, sem interferir e ter de recorrer a equipamentos instalados nas linhas de montagem, ou depender da disponibilidade de algum equipamento em processo de calibração.

Assim sendo, juntamente com o fornecedor de equipamentos *Fortest* da GROHE Albergaria, fez-se o estudo daquele que seria o modelo, assim como os respetivos opcionais disponíveis, mais indicados para o presente trabalho.

A escolha final recaiu num Fortest T8990 Absolute Pressure Decay. Aliado a este equipamento foi adquirido também um calibrador digital M2710, produto igualmente desenvolvido pela Fortest, como forma de possibilitar e auxiliar à calibração dos fugómetros, assim como efetuar a aferição de fugas, e justificar, de certo modo, a formulação tomada como base no contexto teórico deste relatório.

Na Figura 7.15 é possível visualizar os equipamentos adquiridos.



Figura 7.15: Equipamentos Fortest adquiridos, consultada em [64].

De salientar que o aparelho de medição de fugas foi encomendado juntamente com diversos extras, evidenciando uma das característica mais importantes, volume measurement, ou seja, medição de volumes. Em anexo, o pdf presente na figuraA.3, é possível observar o datasheet do equipamento de absolute pressure decay assim como toda a technical data referente ao calibrador, A.5. O orçamento dos dispositivos adquiridos, juntamente com os opcionais escolhidos para o Fortest constam do anexo, na Figura A.4

Juntamente com os dois aparelhos Fortest, foi também adquirida a bomba de pressão manual, conforme explicado no Subcapítulo 7.1.1.

Posto isto, seguiu-se um processo de aprendizagem e validação dos equipamentos. Foram conduzidas várias experiências, assim como manipulação a de diversos parâmetros do Fortest T8990.

#### Validação

Com recurso a dois adaptadores idênticos aos mostrados na Figura 7.19, conseguiu-se fazer um teste pontual de fugas a uma torneira termostática. Tendo sido dada como "OK", ou seja, sem fugas, registou-se a abaixamento de pressão e fuga total (em [cc/min]) lida pelo *Fortest* (conexões + torneira). Juntamente com o *Calibrator*, foi encomendado uma válvula manual, de forma a ajustar e criar uma fuga no sistema. Com o *Calibrator*, era possível medir a fuga gerada pela válvula.

A Figura 7.16 demonstra o procedimento e a bancada montada para este fim. A válvula está assinalada com uma seta vermelha conforme é possível verificar.



Figura 7.16: Bancada experimental.

Estabeleceu-se uma fuga de 5,76 cc/min. Adicionando ao valor previamente registado (abaixamento de pressão do sistema), totalizou-se uma fuga de 5,86 cc/min. Ou seja, com um volume de 184 cc, e um valor de 5,86 cc/min, estimou-se que  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  seria de 53 Pa/s. Atribuindo um tempo de medição de 2 segundos, a abaixamento de pressão máxima corresponderia a um valor muito próximo dos 106,2 Pa. Este cálculo teve por base a formulação dada pela Equação 5.13.

Ou seja, fazendo um novo teste de fugas, mas desta vez estabelecendo um valor de abaixamento de pressão de 108, 5 Pa, pode-se comprovar que ao fim de 2 segundos, a torneira era considerada como apta. Pelo contrário, enquanto que com um abaixamento de pressão máximo no valor de 106 Pa, a torneira reprovava no teste de fugas.

Resumidamente, tendo todo o sistema (Fortest + torneira + Válvula) uma *leak rate* de 106, 2 Pa (valor alcançado por meio de cálculo), estabelecer um valor de abaixamento máximo de pressão de 106 Pa, resultou numa torneira "com fuga".



Figura 7.17: Validação equipamento e formulação.

Como é possível comprovar pela Figura 7.17, conseguiu-se com uma grande precisão, estimar o valor de abaixamento de pressão em função do tempo para este primeiro exemplo, tendo permitido validar tanto o equipamento, como a formulação 5.13, o que até então, não o tinha sido feito, pelo menos numa abordagem prática.

#### 7.2.3 Teste digital

O passo seguinte baseou-se na determinação dos volumes internos das torneiras. À semelhança do processo analógico Subcapítulo 7.2.1, o objetivo desta etapa baseou-se na medição dos volumes correspondentes aos canais testados nas diferentes etapas de teste nas linhas de montagem (cartucho aberto, cartucho fechado e *crossflow*), replicando da melhor forma os testes de fuga aos quais estas torneiras são sujeitas no fim do processo de montagem.

Primeiramente foi necessário reunir o máximo de corpos de torneiras possível. Com o auxílio de vários colaboradores, tanto na linha de montagem, como na manutenção e armazém, foi possível agrupar ao todo 24 torneiras completamente distintas, de 3 streams diferentes: termostáticas, casa de banho e cozinha. Consultar 4.1, ou o Anexo A.6 de forma a observar todas as torneiras testadas com o novo equipamento Fortest.

De seguida, numa bancada de testes foi necessário conectar, de modo a fazer a medição de volumes, conectar cada uma das torneiras ao equipamento de deteção de fugas. O aparelho Fortest apresenta duas conexões pneumáticas para admissão de ar no sistema e porta de teste (IN AIR).



Figura 7.18: Conexões Fortest.

De forma a estabilizar a pressão admitida pela rede interna de ar comprimido na GROHE, o ar era inicialmente induzido por uma unidade filtragem/regulação de pressão, de forma a diminuir a possível existência de humidade nas tubagens, assim como flutuações de pressão (embora o próprio Fortest tenha mecanismos de estabilização de pressão). Desta forma, minimiza-se o impacto que alguma solicitação repentina de ar comprimido da rede pudesse originar. De forma a medir o volume das torneiras foi necessário criar um programa específico para o fazer, alterando algumas funções, de forma a ativar o modo *volume measurement*.

Recorrendo ao facto de os corpos de torneiras disporem de uma série de conexões roscadas, onde se faz ao acoplamento de diversos elementos, como emulsores e tubagens, entre outros, criou-se uma extensa panóplia de adaptadores que possibilitassem criar uma conexão estanque entre a torneira em teste e o equipamento de medida. Estes adaptadores foram criados com recurso a cola Epóxi de alta qualidade, assim como a vários elementos de latão, ou alumínio, com um passo de rosca, diâmetros compatíveis com os corpos das torneiras, e conexões pneumáticas de ligação rápida. O facto de a GROHE ter uma rede de fornecedores de produtos pneumáticos Festo agilizou todo o processo. A Figura 7.19 mostra alguns dos adaptadores desenvolvidos:



Figura 7.19: Adaptadores criados para medição de volumes das diferentes torneiras.

Após as conexões estarem finalizadas, impermeabilizadas e devidamente testadas, deu-se início o processo de determinação de volume. Para medir o volume correspondente a cada fase de teste, corria-se um programa, tal como mencionado acima, personalizado de forma a obter os resultados o mais precisos possíveis.

A Figura 7.20, demonstra as quatro etapas do teste de medição de volume das torneiras.





(c)

Figura 7.20: 4 principais fases de teste do Fortest T8000+.

Primeiramente o programa corre um teste de fuga, com um valor predefinido de  $\Delta t$ e  $\Delta P$ . Caso a abaixamento de pressão verificado não fosse superior ao estabelecido, seguia-se o "Volume Test" (teste volúmico). De forma a melhorar os resultados, tanto o tempo de estabilização na fase de deteção de fuga, como o tempo de medição de volume, foram largamente aumentados (>8 segundos).

Todos os teste volúmicos foram conduzidos no mínimo 3 vezes para cada corpo, tendo sido feita uma média dos resultados obtidos. Embora não fosse uma variação muito significativa, o valor de volume chegava a variar até 0.5 cc entre a primeira e a última medição.

Importante também referir que foi definido um tempo de descarga após cada medição, de forma a retirar todo o ar presente no interior do sistema, que pudesse falsear o valor da volumetria medida.

A Figura 7.21 mostra o exemplo da montagem de diversas conexões numa torneira, permitindo efetuar a medição volúmica com o equipamento Fortest.



Figura 7.21: Montagem de conexões pneumáticas numa torneira.

No Anexo A.5e é possível observar outras montagens, usando várias das conexões criadas. Tendo em conta que estas ligações foram feitas de modo relativamente "artesanal", foi necessário manusear com cuidado as peças, principalmente durante o aperto/desaperto das mesmas. Senda as ligações acopladas com  $Ep \acute{o}xi$ , embora o mesmo assegure a devida estanquidade e impermeabilidade das conexões criadas, no fim de consolidadas acabam por partir com facilidade, tendo havido necessidade de recuperar algumas.

#### Cartucho fechado

O processo de análise da dispersão de valores de *leak rate* para o método "digital" foi muito próximo ao usado para as medições com seringa. Uma das principais vantagens deveu-se ao facto de o valor de volumes medidos com o equipamento *Fortest* englobar já uma medida da volumetria da tubagem de ligação do equipamento Fortest à torneira, assim como o volume interno do próprio aparelho (totalizando um valor extra de 44, 5 cc).

Aliado ao fator acima mencionado, para esta segunda análise experimental utilizou-se não os valores sugeridos pela Tabela de *Leak Testing Parameters*, disponível em no anexo A.3, mas sim o valores reais, utilizados diretamente nas linhas de montagem, definidos nas fichas de parâmetros. Tal como referido anteriormente, encontra-se um exemplar em Anexo 7.1.



Figura 7.22: Histograma do cartucho fechado com teste com Fortest.

Leak Rate	SKU	STREAM	
2,18	406862040	Chuv. OHM Euphoria montado	
2.47	75141996	clivia VIGOUR	
2,41	75141620	monoc. cozinha	
2 76	31484000	Get monoc.	
2,70	51464000	cozinha bica alta chuv.ext.	
2.90	32901001	Essence New	
2,00	02001001	mon.bacia lav. U-bica c.liso	
3.02	32830000	Eurosmart	
- / -		Cosmopolitan mon. lav. b.alta	
3,55	32836000	Eurosmart	
		Cosmopolitan mon.banh.Monotrou	
3,61	33412002	Eurosmart 2015	
		monoc. bann. Monotrou F	
3,78	33281002	OHM sink low spout	
		PauEdge monog	
3,83	23563000	cozinha F	
		Eurosmart 2015	
$^{3,97}$	33202002	OHM sink high spout	Banho
		2015 OHM sink	
4,29	30317000	low sp.ex.spray	
		GRT 800 term banh. 40mm sem	- · · ·
4,55	34708000	rác SC	Cozinha
5 20	22624001	Essence New	
5,29	55024001	OHM bath exp	
6 76	33636001	Essence New	Termostát
0,70	33030001	OHM shower exp	Termosta
7.64	403847240	Rainshower mont. cart. C3,	
.,		maníp. plástico	
7.87	32269000	FEEL Monoc.	
		banheira / duche	
8,61	34065002	GRT 1000 Cosmo	
		alivia VICOUR	
$_{9,10}$	75154026	termostática banh, parate	
9.28	31368000	BauLoop OHM sink swivel spout	
5,20	01000000	Start Flow	
10,39	31555000	monoc, cozinha C-bica EU	
		GRT 800 THM	
11,10	34567000	bath exp 1/2"	
19.70	24155002	GRT 1000 New	
12,70	54155003	THM bath exp $1/2$ "	
14.41	34558000	GRT 800 THM shower exp	
14,41	34338000	1/2"	
16.23	34146445	GRT 1000 New	
10,20	04140440	THM EN duche par 1/2"s/rác	

Tabela 7.4: Diferentes valores de *leak rate* para cartucho fechado.

Na Figura 7.22, é possível observar a dispersão de valores de *leak rate* para os 24 diferentes modelos de torneiras testadas. O valor de assimetria de Pearson para esta análise é de 1,30, correspondendo a uma assimetria forte. A Tabela 7.4, demonstra claramente quais as torneiras com um valor de *leak rate* superior àquele que seria o expectável (possivelmente entre os 5 cc/min e os 9 cc/min).

Depreende-se facilmente que, com exceção de duas torneiras de casa de banho, as torneiras termostáticas são aquelas que apresentam piores resultados em toda a análise efetuada às torneiras, relativamente a testes com cartucho fechado. Ou seja, este valor indica claramente que vários modelos de torneiras, especialmente termostáticas, são testados com parâmetros demasiado permissivos. Tal poderá conduzir a possíveis inconformidades, podendo mesmo apresentar fugas de água após a sua instalação final. Importante realçar que não invalida que grande parte das torneiras dadas como aptas apresente uma "fuga", havendo uma maior probabilidade que torneiras que se aproximem de uma escala de 100% de abaixamento de pressão possam apresentam uma fuga, mesmo quando em operação com água no seu interior, isto é, se a parametrização tiver sido devidamente conduzida. A Figura 7.23 exemplifica um teste de fugas com uma torneira com um abaixamento de pressão superior a 75%.



Figura 7.23: Escala de abaixamento de pressão em testes de fugas.

#### Cartucho aberto

À semelhança do teste de analógico 7.2.1, existe uma quantidade significativamente superior de "n<sup>o</sup> torneiras" na Figura 7.24, pois, voltando a referir, o eixo das coordenadas deste gráfico representa não a totalidade de torneiras com um certo valor de *leak rate*, mas sim a quantidade de teste para um dado valor de fuga. Relembrando que uma torneira pode contar, em função das saídas de água que contenham, até três testes de estanquidade de cartucho aberto.



Figura 7.24: Histograma cartucho aberto com teste com Fortest.

Analisando o gráfico da Figura 7.24, embora apresente uma assimetria moderada, de 0,34, é notório uma acentuada dispersão de valores, abrangendo valores de *leak rate* de 7 cc/min a 19 cc/min.

Seria possível admitir que todos os testes OK, cujo o valor de *leak rate* seja igual, ou inferior à média de valores registados de *leak rate*, poderiam ser dados como suficientemente precisos para assegurar uma devida estanquidade das torneiras medidas. No entanto, várias são as torneiras, com especial incidência nos modelos termostáticos, que se encontram fora deste limite. Embora este gráfico não seja totalmente conclusivo, é seguro afirmar-se que, torneiras com parâmetros de teste, que resultem em taxas de fuga admissíveis superiores, terão mais probabilidades de não assegurarem uma devida estanquidade.

Relativamente à Tabela 7.5, pretende-se demonstrar o que foi acima mencionado. De facto, com exceção de duas torneiras de banho, grande parte dos modelos termostáticos apresentam um valor menos restritivo de *leak rate* admissível nos testes de fugas.

Leak Rate	SKU	STREAM
5.46	406862040	Chuv. OHM
0,10	100002040	Euphoria montado
5,61	31484000	Get monoc. cozinha
		Eurosmart 2015 OHM
5,95	33281002	sink low spout
0.00	100000010	Chuv. OHM Euphoria
6,00	406862040	montado
6.02	22202002	Eurosmart 2015 OHM
0,02	33202002	sink high spout
6,11	30317000	2015 OHM sink low
ŕ		sp.ex.spray
7,20	406862040	montado
		Essence New mon.bacia
7,64	32901001	lav. U-bica c.liso
7.74	31368000	BauLoop OHM sink
.,	51000000	swivel spout
8,05	403847240	Rainshower mont.
		Start Flow monoc.
$^{8,47}$	31555000	cozinha C-bica EU
8.07	32830000	Eurosmart
0,31	32030000	Cosmopolitan mon. lav. b.alta
9,19	34065002	GRT 1000 Cosmo M
		Bainshower ment
9,30	403847240	cart, C3, manin, plástico.
11.10	00500000	BauEdge monoc.
11,16	23563000	cozinha F
11.23	75141826	clivia VIGOUR monoc.
11,20	10111020	cozinha
11,43	75154026	clivia VIGOUR
		EEEL Monoc banheira
11,88	32269000	/ duche
12.10	22626001	Essence New OHM
12,10	33030001	shower exp
12.62	33412002	Eurosmart 2015 monoc.
7 -		banh. Monotrou F
12,81	32269000	/ duche
10.00		GRT 1000 New THM bath
13,36	34155003	$\exp 1/2"$
13.43	75154026	clivia VIGOUR
10,10	10104020	termostática banh. parate
13,66	33412002	Eurosmart 2015 monoc.
		Essence New OHM bath
14,36	33624001	exp
14.91	32836000	Eurosmart
14,01	0200000	Cosmopolitan mon.banh.Monotrou
14,94	34567000	GRT 800 THM bath exp
		GBT 800 term banh
14,98	34708000	40mm sem rác SC
15.16	34558000	GRT 800 THM shower
10,10	3400000	exp 1/2"
15,79	32836000	Eurosmart
		GBT 800 term banh
15,87	34708000	40mm sem rác SC
15.00	22624001	Essence New OHM bath
15,96	33624001	exp
16.91	34567000	GRT 800 THM bath exp
10,01	0100.000	1/2"
17,13	34146445	GRT 1000 New THM EN
		GRT 1000 New THM bath
18,77	34155003	exp 1/2"

Tabela 7.5: Diferentes valores de *leak rate* para cartucho aberto.

 $\operatorname{Cozinha}$ 

Banho

Termostática

#### Cross flow

A título de curiosidade, desde a década de 70, todas as torneiras foram padronizadas de forma a terem entrada de água quente pelo canal esquerdo e água fria pelo caudal direito (o mesmo se aplica aos manípulos). Isto deve-se ao facto de, quando surgiram os primeiros sistemas de canalização em edifícios, ser necessária a atuação de uma bomba hidráulica manual de forma a bombear a água. Sendo grande parte da população destra, a bomba localizava-se do lado direito do lavatório. Com a introdução de água corrente quente, havendo espaço disponível do lado esquerdo dos sistemas de escoamento de água da altura, acabou por se padronizar como localização preferencial para os manípulos de água quente.



Figura 7.25: Teste de crossflow.

Tabela 7.6: Diferentes valores de *leak rate* para *crossflow*.



Este teste não foi conduzido em torneiras termostáticas, pois a sua geometria não o possibilita. Não é possível fazer a admissão de ar por um só canal de água e não haver passagem para os restantes. Desta forma é impossível obter um teste estanque.

A partir da a Figura 7.25, é percetível que a análise feita aos parâmetros referentes ao teste de *crossflow* revelam resultados bastante animadores, com uma assimetria de apenas 0,16 e a maioria dos testes próximos do valor de tendência de cerca de 2 cc/min.

#### Torneiras termostáticas

Apesar de já ter sido feita uma análise à parametrização das torneiras termostáticas no Subcapítulo 7.2.3, achou-se que seria prudente perceber, isolando-as das restantes torneiras, o porquê de apresentarem resultados tão dispares e com um valor de *leak rate* tão alto.

Dada a importância acrescida dos testes de estanquidade feitos com cartucho fechado, aliado ao facto de ter sido neste tipo de teste que se verificaram os piores resultados relativamente à parametrização de testes de estanquidade, achou-se que não seria relevante proceder a uma análise que englobasse outras condições de teste, nomeadamente cartucho aberto. Aliado ao facto de tanto Albergaria como Hemer utilizarem os mesmos parâmetro para o teste de torneiras termostáticas, em cartucho aberto.

Primeiramente fez-se uma comparação entre os valores de teste em uso na unidade de Albergaria e os de Hemer. O histograma presente na Figura 7.26 mostra a disparidade entre ambos, correspondendo as colunas verdes aos valores de Hemer e as azuis aos de Albergaria, para testes com cartucho fechado.



Figura 7.26: Comparação de *leak rate* entre Albergaria e Hemer.

A partir da análise da Figura 7.26, é facilmente concluído que Hemer sugere uma parametrização mais restrita, resultando em valores de taxa de fuga menores. Os valores de  $\Delta P$  e  $\Delta t$  são os seguintes: 150 Pa de abaixamento de pressão e 2*s* de tempo de medição. A partir de uma análise da ficha de parâmetros das torneiras termostáticas GRT 1000 e GRT 800, pela Figura 7.27, verifica-se que a única diferença se baseia em 0,5 *s* no tempo de medição.

Começou-se por analisar as torneiras que à partida, apresentavam uma pior parametrização relativamente aos critérios de teste. O principal destaque recaiu, nos modelos GRT 1000 e GRT 800, justificado pelos resultados da Tabela 7.5. Assim sendo, para ambas as torneiras foi necessário repetir os testes de estanquidade com o equipamento de medição de fugas, desta vez diretamente nas linhas de montagem com todos os equipamentos de bancada utilizados nos testes de estanquidade destes modelos, e tentar perceber que outros parâmetros relevantes de teste poderiam ser preponderantes e ter um impacto no valor final de *leak rate*.

GROHE	Ficha e	TTM/AL			
Produtos: C	huveiro Termostáti	0		Tino de	SPS nº: 1
Corpos: 40	5 941/406 013/406 014/406 161/	64 583/65 507/65 756/65 757 (	SMO 116101/115004)	Teste ForTest	Linhas: TH02/03/04
Programa	Programa 1	Programa 2	Programa	Programa	Programa
Tipo de teste Circulação	Tipo de teste Fuga	Tipo de teste Fuga	Tipo de teste Fuga	Tipo de teste Fuga	Tipo de teste Fuga
pressão máx. pressão mi	Enchimento 4,5)s +/- 1,0)s pressão máx. 30000 mbar	Enchimento 4,5)s ↓/- 1,0)s pressão máx. 20000 mbar	Enchimento s <u>*/s</u> s pressão máx. mtar	Enchimento s +/- s pressão máx. mbar	Enchimento 5 +/- s pressão máx. mbar
Estabilização S +/- S Tempo teste S	Estabilização 4,5 s +/- 1,0 s Medição 150,0 ra 150,0 ra 150,0 ra	Estabilização   4,5]s */- 1,0]s   Medição 1,5]s 9   Perda de pressão 150,0]Pa 150,0]Pa   Despejo 0 0	Estabilização s (+/- s Medição Perda de pressão Parda de pressão Parda de pressão	Estabilização s +/- s Medição Perda de pressão ps Despejo	Estabilização s s/2 s Medição Perda de pressão ra Despejo
Comentários	<b>0,0</b> s	<b>0,0</b> s	S	S	S
Validado					
TI/AL:		TTM/AL:		D	DATA:
TTM/AL 002 01/11					

Figura 7.27: Ficha de parâmetros GRT.

A ficha de parâmetros presente na Figura 7.27, exibe todos os valores para os quais estas torneiras são testadas. Para além do tempo de medição  $\Delta t$  e abaixamento de pressão  $\Delta P$ , dispõe também do valor de pressão máxima no qual é efetuado o teste, assim como tempos de estabilização, com a respetiva tolerância e duração do despejo.

De seguida, executaram-se vários testes, com diferentes combinações de parâmetros. Deste modo, seria possível investigar quais os parâmetros que, sendo alterados, resultariam num teste de estanquidade mais capaz, e adequado aos produtos em causa.

- Pressão O valor de pressão máxima, de 3000 mbar foi o único que se manteve inalterado ao logo dos vários testes realizados, pois corresponde ao valor máximo de pressão que os equipamentos mais recentes Fortest aceitam (tal como o modelo adquirido para o âmbito do presente trabalho), não sendo por isso possível subir o mesmo. Baixar o valor de pressão não seria benéfico para os testes, pois poderia não revelar algumas fugas que só a partir de uma dada pressão é que se tornam "visíveis".
- **Tempo de medição** De seguida, a atenção recaiu sobre os tempos de medição, variação de pressão e as repercussões que a alteração dos mesmos poderia ter. Tal como mencionado acima, na Figura 7.26, um aumento de tempo de medição, tal como sugerido por Hemer, diminuiria substancialmente o valor de *leak rate*, como é possível constatar pela seguinte formulação.

$$\frac{\Delta P}{\uparrow \Delta t} = \frac{\downarrow Leak \; Rate}{Volume}$$

Apesar de ser um aumento de tempo aparentemente pouco significativo, após diversos testes práticos o mesmo acabou por não se revelar muito vantajoso, visto que o prolongamento do teste levava a que várias das torneiras acabassem por reprovar no teste de fugas, ou ficar regularmente acima dos 80 % na escala de abaixamento de pressão do equipamento.

- Tempo de descarga A descarga de ar alojado no sistema após um teste de fugas tem um impacto bastante benéfico para o mesmo. Testaram-se valores compreendidos entre 0-5 s, não se tendo verificado uma tendência significativa quanto à influência que o aumento do tempo de descarga do ar pudesse ter.
- Tempo de estabilização Por fim, decidiu-se experimentar diversos valores de tempos de estabilização. Surpreendentemente foi o fator com o maior impacto nos resultados de *leak rate* finais, mesmo tratando-se de um parâmetro "secundário" no que toca à parametrização dos equipamentos de deteção de fugas. Muito pelo facto de, a partir da formulação dada pela Equação 5.13, que rege e está por base no cálculo da taxa de fuga, não dar qualquer relevância ao tempo de estabilização. Foi possível verificar que, aumentando até 4s ao tempo proposto pela ficha de parâmetros (totalizando cerca de 8s), conseguia-se diminuir substancialmente o valor de *leak rate* final. Somente nos modelos GRT resultou numa abaixamento de pressão  $\Delta P$ , durante a fase de teste, de menos 70 Pa. Testando-se os restantes corpos, consegui-se um abaixamento médio na ordem dos 40 Pa, tendo sido com este novo valor de  $\Delta P$ , desenhado o seguinte gráfico, demonstrado na Figura 7.28, onde se faz a comparação do novo valor de *leak rate* (colunas amarelas), com os anteriormente demonstrados na Figura 7.26.



Figura 7.28: Valores de *leak rate* com tempo de estabilização corrigido.

2,28	34708000	GRT 800 term banh. 40mm sem rác		
4 55	34708000	GBT 800 term bank 40mm sem rác SC		
5.61	403847240	Bainshower mont cart C3 manin plást???		
5.73	403847240	Bainshower mont cart C3 manip plást???		
6.31	34065002	GBT 1000 Cosmo M termostática duche par		
6.46	34065002	GRT 1000 Cosmo M termostática duche par		
6.67	75154026	clivia VIGOUR termostática banh. Parate		
6,83	75154026	clivia VIGOUR termostática banh. parate		
7,64	403847240	Rainshower mont. cart. C3, manip. plást???		
8,14	34567000	GRT 800 THM bath exp 1/2"		
8,33	34567000	GRT 800 THM bath exp 1/2"		
8,54	34708000	GRT 800 term banh. 40mm sem rác SC		
8,61	34065002	GRT 1000 Cosmo M termostática duche par.		
9,10	75154026	clivia VIGOUR termostática banh. parate		
9,32	34155003	GRT 1000 New THM bath exp 1/2"		
9,53	34155003	GRT 1000 New THM bath exp 1/2"		
10,56	34558000	GRT 800 THM shower exp 1/2"		
10,80	34558000	GRT 800 THM shower exp 1/2"		
11,10	34567000	GRT 800 THM bath exp $1/2$ "		
11,90	34146445	GRT 1000 New THM EN duche par 1/2"s/rác		
12,17	34146445	GRT 1000 New THM EN duche par 1/2"s/rác		
12,70	34155003	GRT 1000 New THM bath exp $1/2$ "		
14,41	34558000	GRT 800 THM shower exp $1/2$ "		
16,23	34146445	GRT 1000 New THM EN duche par 1/2"s/rác		
		THERMOSTATIC HEMER		
		THERMOSTATIC ALBERGARIA		
		THERMOSTATIC ALBERGARIA 2 $(-80 \Delta P)$		

Tabela 7.7: Comparação dos valores de diferentes parametrizações em torneiras termostáticas.

Foi possível concluir que a dependência do tempo de estabilização é altamente influenciada pelo volume interno dos corpos. Este facto pode ser comprovado pela análise feita às torneiras termostáticas, sendo que as torneiras com um maior volume de canais de água, nomeadamente os modelos GRT 1000 & GRT 800, correspondem aos modelos com a volumetria superior em todo o universo de torneiras testadas no âmbito deste relatório.

#### Influência variação de temperatura e impacto nos aparelhos Fortest

Tendo como base a bibliografia consultada, assim como manuais técnicos de equipamentos de medição de fugas, decidiu-se perceber o real impacto que a variação de temperatura tem nos desvios de medição de *leak rate* dos equipamentos de abaixamento de pressão, nomeadamente no *Fortest* adquirido para este estágio.

Para tal, escolheu-se aleatoriamente um modelo de torneira de casa de banho, mais concretamente a torneira Eurosmart Cosmopolitan mon.banh.Monotrou, SKU 32836000.



Figura 7.29: Torneira estudada.

Esta experiência começou por volta das 13h:00min, tendo sido conduzida até as 16h:30min. Foi-se registando, sempre para a mesma torneira acima mencionada, o aumento de volume lido pelo *Fortest* em função do aumento da temperatura ambiente registada na sala de teste. A Tabela 7.8 mostra os valores registados durante o tempo de medição.

Cartridge C	Closed
Temperatura [°C]	Volume [cc]
20	$107,\! 6$
20,2	107,7
20,3	107,8
20,5	107,9
21	108,0
21,7	108,5
22,1	108,8
22,5	109,3
23,2	109,7
23,5	110,0

Tabela 7.8: Influência da temperatura nos volumes medidos.

A Figura 7.30 foi feita a partir dos valores da Tabela 7.8, com a respetiva linha de tendência.



Figura 7.30: Influência da temperatura nos volumes medidos.

A equação da linha de tendência, tirada a partir dos valores da tabela 7.8, está mostrada na Equação 7.1:

$$y = 0,6769x + 93,976 \tag{7.1}$$

Estimando que durante o Inverno estão cerca de 10°C no armazém da linha de montagem, e 25°C durante o Verão, a partir da Equação 7.1 é possível prever que, exatamente para a mesma torneira, devido apenas à variação de temperatura, o *Fortest* medirá um volume com uma diferença aproximada de 10*cc*, cerca de 10% superior, e subsequentemente diferentes valores de *leak rate*, comparativamente entre ambas as estações. Claramente, é impossível que na realidade a torneira apresente um aumento tão substancial de volume entre Verão e o Inverno, o que evidentemente indica, conforme já tinha sido investigado, que os valores medidos por estes aparelhos são significativamente influenciados pela temperatura, sendo sem dúvida o ponto mais desfavorável no seu uso, como método de deteção e avaliação de fugas a adotar.

Assim sendo, seria prudente uma implementação de não apenas uma ficha de parâmetros por modelo de torneira, mas sim duas, com parâmetros de Verão e de Inverno, diferentes para cada uma das as estações Após discussão com alguns afinadores da empresa, que estão encarregues da parametrização (apenas inserir os valores previamente determinados) destes aparelhos, e têm um contacto muito próximo com os mesmos, eles próprios sugeriram que seria uma mais valia a existência de duas folhas de parâmetros por torneira, uma vez que é notória uma diferença significativa entre medições em dias quente e em dias frios.

## 7.3 Descrição do sistema proposto de teste de fugas na GROHE Albergaria

Aborda-se, no seguimento do presente subcapítulo, uma descrição detalhada do sistema proposto de teste de fugas. Com base nos procedimentos experimentais anteriormente referidos, e de forma a descrever a metodologia de trabalho tida em conta ao longo deste estágio curricular, é feita uma consideração da prática considerada ideal a adotar para testes de estanquidade na GROHE Albergaria.

A seguir, segue um fluxograma exemplificativo do sistema de teste de fugas a implementar, por forma a melhorar a metodologia de teste existente até à data:



Figura 7.31: Fluxograma referente ao sistema de teste de fuga da GROHE Albergaria.

Os Subcapítulos seguintes fazem a análise do diagrama presente na Figura 7.31, enumerando e explicando cada uma das seguintes etapas do mesmo.

### 7.3.1 Dispositivo de teste

Relativamente ao dispositivo de teste, há que ter em conta os seguintes fatores:

• Especificação do dispositivo de teste: as especificações do dispositivo escolhido têm de ser concordantes com a exigência pretendida dos testes. O equipamento tem de estar apto para detetar a gama de valores de *leak rate* no qual as torneiras produzidas pela GROHE se inserem, assim como uma resolução suficiente e tempos de teste/ciclo, de forma a conseguir detetar as reais existências de *fugas* e *não fugas*. • Calibração periódica: A calibração é um passo fundamental para o controlo dos equipamentos de medição de fugas e aferição de que estão aptos e preparados para serem inseridos numa linha de montagem.

De forma a assegurar que os dispositivos estão devidamente calibrados, está estabelecido que deve existir uma calibração periódica, anual. Equipamentos mais antigos (idênticos aos da Figura 7.31), são muito mais propícios a descalibrações e desvios, tanto pelo facto de a sua regulação ser de fácil alcance, como pela própria robustez do *software* e *hardware*, que está mais sujeita a variações de temperatura, pressão e humidade.

Na Figura 7.32 é possível verificar um dos equipamentos Fortest mencionados acima. Importante referir que a empresa tem vindo a substituir gradualmente muitos destes equipamentos por modelos mais atualizados, idênticos aquele que foi utilizando no âmbito do presente estágio, e apresentado na Figura 7.15



Figura 7.32: Equipamento*Fortest*.

• Recolha de informação: Existe documentação com parâmetros previamente estabelecidos, e com a metodologia de calibração passo-a-passo para cada dispositivo de calibração.

### 7.3.2 Controlo de processo

Outra etapa importante baseia-se no controlo de processo. É de destacar o seguinte:

• Controlo com peças padrão: Aliado ao processo de calibração, o controlo de processo baseia-se em aferir se um equipamento de teste, ou a bancada de teste (*fixture*) está nas devidas condições operacionais. Consiste em aferir se o aparelho de medição de fugas está devidamente calibrado e se todo o sistema de bancada (gabarits, etc) está conforme e sem quaisquer fugas. Para tal existem peças padrão "*OK/NOK*" em cada bancada. Com o recurso a estas peças seria mais fácil conseguir determinar a existência de alguma incoerência no *setup* da teste de fugas, e, caso exista, a que se deve.



Na Figura 7.33 estão presentes algumas peças padrão utilizadas numa dada linha de montagem.

Figura 7.33: Peças padrão.

## 7.3.3 Parâmetros de estanquidade

De forma a calcular o abaixamento de pressão admissível de cada torneira alvo, é primeiramente determinado o volume dos canais internos das torneiras. Este volume é medido com recurso a uma funcionalidade do equipamento Fortest T8990, medição de volumes, dada em cc (centímetros cúbicos). Obtidos os volumes internos de cada modelo de torneira, e feito o somatório dos volumes de todos os canais, replicando as diferentes etapas de teste de fugas (cartucho fechado, cartucho aberto e cross flow). Recorrendo à formulação da Equação5.13, é possível calcular o valor de  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ , ou abaixamento de pressão, com que cada torneira está a ser avaliada e, deste modo, fazer uma comparação entre diferentes corpos, geometrias, streams e modelos.

• Cálculo do  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  desejável: De forma a avaliar todas as torneiras com a mesma exigência, o ideal será que a totalidade das mesmas tenha um valor de *leak rate* muito próximo, ou mesmo igual. Deste modo é garantido que todas as torneiras cumprem com os mesmos requisitos de qualidade. Novamente, recorrendo à formulação da Equação 5.13, é possível manipular os valores de  $\Delta P$  e  $\Delta t$  de forma a obter o *leak rate* ideal, que melhor se adequa a um maior número de modelos de torneiras. Tendo os valores de  $\Delta P$  e  $\Delta t$  definidos, apenas resta introduzir os mesmos no dispositivo de teste de fugas, para os respetivos programas de cartuchos fechado, aberto e *cross flow*.

### 7.3.4 Bancada

A bancada de teste é responsável por fazer a ligação entre o dispositivo de teste, a sequência de teste e o produto a testar. Tendo o dispositivo de teste de fugas (*Fortest*,

por exemplo) sido devidamente calibrado, e os parâmetros da torneira a ser testada calculados e devidamente introduzidos no Fortest, e se todas as fixações e conexões pneumáticas não tiverem uma fuga inadmissível (têm uma fuga associada porque não existe nada 100% estanque), ou foram incorretamente acopladas, deste modo tem-se a certeza que se está na presença de uma torneira com/sem fuga, consoante o resultado que cada um dos corpos obtiver quando for testado.

## 7.4 Propostas de melhoria, e problemas que visam resolver

Com base nos problemas encontrados e apontados no Subcapítulo 7.1, pretende-se com o presente subcapítulo apresentar algumas sugestões e propostas, que possam ir ao encontro de um melhoria e resolução dos referidos problemas, tendo sempre como objetivo uma válida e viável implementação destas soluções na unidade fabril da GROHE Albergaria.

#### Ficha de parâmetros

Quanto à ficha de parâmetros anterior, era clara a falha de alguns aspetos e indicações de forma a auxiliar a introdução dos parâmetros de teste nos aparelhos *Fortest*. Sugere-se na Figura 7.34 uma atualização no *template* destas folhas.



Figura 7.34: Ficha de Parâmetros atualizada.

Em comparação com a ficha de parâmetros atualmente em utilização na GROHE, presente na Figura 7.1, a folha atualizada pretende especificar o tipo de teste a calibrar. Ou seja, se os parâmetros são referentes a uma fase de teste de cartucho fechado, aberto, ou *cross flow*. O nome atribuído aos próprios parâmetros está também de acordo com

a *interface* de utilização dos equipamentos *Fortest*, facilitando a navegação pelos seus menus.

À semelhança da folha de parâmetros anterior, manteve-se o tipo de teste "Circulação". Este tem como objetivo fazer um teste de obstrução, detetando algum bloqueio à natural passagem do ar ou água no interior da torneira. Esta teste permite também uma limpeza prévia às torneiras, removendo possíveis limalhas, rebarbas, ou areias que tenham ficado dentro dos corpos, e que possam ter um impacto negativo nos testes de fuga.

Com a realização de todo o estudo de parametrização em vigor na fábrica GROHE em Albergaria, conseguiu-se compreender perfeitamente o ponto de situação atual da mesma.

#### Parametrização e aquisição de valores práticos

- **Crossflow** Relativamente aos testes de fuga de *crossflow*, presente no Subcapítulo 7.2.3, foi possível concluir que os parâmetros em utilização são aceites, e, dada a exigência destes testes, não são necessárias acções de melhoria, para nenhum produto em concreto. Existem alguns modelos, como a torneira *FEEL Monoc* de casa de banho, que tem um valor bastante díspar em relação às restantes torneiras, principalmente do mesmo *stream*, mas, tratando-se apenas de um modelo em concreto é possível admitir que possa ter existido alguma medição errónea no processo de aquisição de valores da torneira usada, ou mesmo algum defeito da mesma.
- Cartucho aberto Em testes de cartucho aberto, não mencionando as torneiras termostáticas, tanto os *streams* de cozinha como banho (casa de banho) estavam compreendidos entre os valores mais indicados de taxa de fuga (pela observação da curva de dispersão), ou seja, até um valor máximo de 13,5 [cc/min] de leak rate. É de salientar a existência de dois corpos de cozinha, nomeadamente o modelo Eurosmart Cosmopolitan Monotrou e Essence New OHM bath, com valores significativamente fora deste intervalo.

De forma a aproximar o *leak rate* final destes corpos, para um mínimo de 13 [cc/min], poderá proceder-se de duas formas. Ou diminuir o valor de abaixamento de pressão máximo, ou aumentar o tempo de medição. Para ambos os corpos, um tempo de medição de 2 segundos irá assegurar que são testados de acordo com os melhores parâmetros de teste (de acordo com os resultados alcançados neste relatório). Tendo em conta a elevada cadência de produção destes modelos, poderá não ser vantajoso aumentar meio segundo ao tempo total de teste. Desta forma, poderá definir-se um abaixamento de pressão máximo da ordem dos 122 Pa para os testes de cartucho aberto referentes à torneira *Essence New OHM*, e 120 Pa do abaixamento de pressão máximo para o modelo *Eurosmart Cosmopolitan Monotrou*.

• Cartucho fechado - Quanto aos testes em cartucho fechado, excluindo novamente os modelos de torneiras termostáticas, os modelos *BauLoop OHM* e *Start Flow monoc.*, ambos pertencentes ao *stream* de torneiras de cozinha, foram aquelas se apresentaram uma maior dispersão de de valores de *leak rate*. Após análise aos parâmetros estabelecidos para ambos os modelos concluiu-se rapidamente que o tempo de medição de apenas 1 s, valor atualmente utilizando para o teste destes corpos, ser insuficiente para medir adequadamente qualquer torneira. Com a agravante de testes de cartucho fechado serem aqueles que deveriam ser mais restritivos e de maior rigor, 1, 5 s deveria ser o tempo mínimo de medição para assegurar uma taxa de fuga máxima de 8, 5 cc/min, estando desta forma dentro dos parâmetros estabelecidos como aceitáveis.

As restantes torneiras revelaram valores de parametrização adequados à necessidade de teste atual da GROHE Albergaria.

- Torneiras termostáticas Tal como mencionado acima, no Subsubcapítulo "Torneiras termostáticas", é feita uma análise específica aos testes de estanquidade em cartucho fechado, respeitante apenas às torneiras termostáticas. Ficou claro que, principalmente em volumes de maiores dimensões, o tempo de estabilização é um dos principais fatores que influenciam nos testes de estanquidade. A partir da Figura 7.28, é possível comprovar que a grande maioria das torneiras, com a atualização e aumento do tempo de estabilização (superior a 7 s), já se encontram dentro do limite máximo imposto, de 8,5 cc/min. Com a ressalva das torneiras *GRT 1000 New THM duche*, *GRT 800 THM shower* e *GRT 1000 New THM bath*, que apresentam um valor final de *leak rate* respetivamente igual a 11,9,10,56 e 9,32cc/mi. De forma a testar estas torneiras com um *leak rate* apropriado, será plausível fazer testes com um tempo de medição de 2,5 s, e baixar o valor do abaixamento máximo de pressão para 130 Pa.
- Alteração dos métodos de deteção de fugas Outra melhoria a apontar seria a instalação de aparelhos de método de deteção de fugas por diferencial de pressão (referido no Subcapítulo 6.2.5) em bancadas de teste de torneiras termostáticas. Dado a existência de alguns destes aparelhos de deteção de fugas na GROHE Albergaria, e tendo em conta que estão operacionais, embora em bancadas de teste de torneiras de cozinha, seria vantajoso fazer uma substituição de alguns destes aparelhos pelos de método de sistema absoluto instalados nas bancadas de teste de streams de torneiras termostáticas. Tendo em conta que um teste por método de diferencial de pressão, não é influenciado por variações de temperatura e, de destacar, não existir uma necessidade de configurar tempos de estabilização mais adequados para testes a corpos de torneiras de maior volumetria.

## 7.5 Desempenho e impacto esperado da solução incorporando as propostas de melhoria

#### Principais melhorias

No seguimento das sugestões de melhoria apontadas no Subcapítulo 7.4, será de esperar que, pelo menos os modelos de torneiras testados ao longo deste estágio, serão convenientemente validadas se as alterações de tempo de medição e limite máximo de abaixamento de pressão forem tomadas, tal como indicados anteriormente. Estas alterações de parametrização serão prudentes se tomadas nos modelos indicados. No entanto, nada invalida que, a partir da base de dados criada, como tabelas e gráficos, seja feito um paralelismo com outros modelos que não tenham tido o resultado de parametrização esperado.

Relativamente às torneiras termostáticas, a grande melhoria assenta num significativo aumento do tempo de estabilização. Embora comprometa a cadência de torneiras montadas, tendo em conta que irá aumentar o ciclo de teste de fugas, com um consequente aumento no tempo de ciclo final de montagem, é considerado como viável, tendo em conta a significativa redução do valor de *leak rate* médio final alcançado por todos os modelos termostáticos. Atualmente a GROHE está a conduzir testes de estanguidade a este stream de forma significativamente restritiva, sendo desta forma recorrentemente chumbados modelos que se encontrariam em perfeitas condições de teste (sem "fuga") caso fosse aumentado o tempo de estabilização. A GROHE Albergaria atualmente tem custos substâncias no rework e sucata destes modelos, pois os testes não têm sido feitos tendo em conta uma das características principais das torneiras termostáticas, ou seja, o elevado volume inerente às mesmas, e a sua influência nos testes de fuga. Contrariamente ao que, após a análise ´´analógica" presente no Subcapítulo 7.2.1 poderia apontar, o facto de alguns modelos de torneiras termostáticas (modelos GRT 800 & 1000) se encontrarem na lista de torneiras com mais reclamações por parte do cliente, o teste de fuga não indica qualquer razão aparente que relacione as reclamações com a estanquidade das mesmas.

Seguindo as indicações presentes no Subcapítulo 7.4, alguns dos modelos poderão ter a sua parametrização otimizada, assegurando que não são dados como "OK", torneiras com fugas. Tendo como resultado, um impacto direto na garantia de qualidade de alguns modelos de torneiras GROHE.

#### Calibração

Este estágio de 6 meses potenciou algumas melhorias internas na GROHE Albergaria, no que respeita ao foco principal do estágio: análise e validação dos parâmetros de fugas, mas também outros fatores não tão direcionados com os objetivos principais. Um destes fatores poderá ser apontado como a calibração dos próprios aparelhos de medição de fugas. Embora seja algo muito específico, que extravasa de certo modo o plano de trabalho inicial para este estágio, está sim relacionado com fugas, visto que tem um impacto direto com os aparelhos que detetam as mesmas. Tal como explicado no subcapítulo 7.1.1, esta falha detetada e apontada na calibração de primeiro nível dos aparelhos de fuga, embora tenha sido de certa forma uma casualidade, certamente que não teria sido identificado, pelo menos tão "atempadamente", se este estágio não tivesse sido conduzido na GROHE Albergaria.

Um novo procedimento de calibração será introduzido, substituindo anterior, resultando em equipamentos de teste mais fidedignos e fiáveis. A formulação dada pela Equação 5.13, detalhada neste relatório, permitiu testar um novo método de avaliação, que permite, com o auxílio de um fuga padrão, testar rapidamente, e diretamente os aparelhos de medição de fugas instalados nas linhas de montagem, e averiguar se a sua calibração está conforme (de acordo com o novo procedimento de calibração), se ainda não teve qualquer intervenção de calibração, ou se o procedimento foi erradamente seguido.

#### **Outras** melhorias

Ao longo dos seis meses de duração do estágio curricular na fábrica GROHE em Albergaria, foi-se tendo um contacto próximo com vários departamentos de diferentes áreas da empresa. Desde a fundição à montagem, interagiu-se com vários colaboradores, com diferentes especializações e *know-hows*, o que permitiu ir adquirindo uma diferenciada perspectiva das necessidades e funcionamento da empresa.

O facto de se ter interagido com uma diversidade tão grande de departamentos na empresa, além de ter sido um ajuda essencial para este estágio, permitiu criar um alerta, ou seja, uma chamada de atenção e uma maior sensibilização generalizada para a importância que os testes de fugas têm e representam para a validação e qualidade final das torneiras, que são disponibilizadas no mercado. Como referido anteriormente, os testes de estanquidade não eram considerados como uma prioridade na fabricação de torneiras, e eram recorrentemente associados um pouco mais a uma mera burocracia, ou procedimento normativo, ao invés de uma clara interpretação da qualidade de montagem e fabrico das torneiras.

Fazendo uma retrospectiva, entre o início e o fim do estágio, foi notória uma alteração comportamental entre os colaboradores da empresa, tendo sido possível testemunhar uma exposição mais frequente de algumas inconformidades, ou reprovações recorrentes de torneiras em testes de fugas, à equipa de engenharia e qualidade.

Espera-se que esta metodologia de trabalho seja transmitida aos restantes colaboradores, e que a facilidade e comodidade de, por vezes contornar algumas reprovações mais frequentes de certos modelos de torneiras, seja ultrapassada, havendo um maior acompanhamento e preocupação de testar corretamente todas as torneiras e compreender as possíveis causas que resultam na sua reprovação nos testes de fugas.

Tendo em conta que não existe, até à data, nenhuma documentação devidamente elaborada relativamente a procedimentos de testes de estanquidade, este estágio e o seu relatório tem também como base servir de procedimento e guia de formação, assim como registo dos melhores métodos de parametrização de fugas e calibração. Com especial foco em tecnologias de *pressure decay*. Um dos problemas da GROHE e outras indústrias idênticas é o passa-palavra, que leva, por vezes, a alguma deturpação e perda de conhecimento porque desenvolvimentos, descobertas e otimizações que não foram devidamente documentadas e referenciadas.

## 7.6 Parametrização de um novo modelo de torneira

Quer-se com este Subcapítulo apenas proceder ao raciocínio de uma possível metodologia a seguir, caso se pretendesse proceder à parametrização de um novo modelo de uma dada torneira, tendo como base um sistema absoluto (*pressure decay*). Parte-se como princípio que a parametrização seria conduzida isoladamente, de modo experimental, separada de uma linha de montagem.

Tendo em conta que no decorrer deste estágio, se adquiriu toda uma panóplia de equipamentos úteis à medição de fugas em torneiras, poderia fazer-se uso dos mesmos, nesta etapa. A Figura 7.35 mostra a bancada de teste, juntamente com todos os aparelhos adquiridos, como o *Fortest* medidor de fugas, um calibrador de fugas *Fortest*, assim como a válvula pneumática e uma mala de ferramentas.



Figura 7.35: Bancada experimental adquirida no âmbito do estágio.

Segue abaixo, de forma esquemática, um exemplo de como conduzir a uma parametrização de um novo modelo de torneira:

- **Deteção de fuga** Primeiramente, seria imprescindível averiguar a existência de fugas no modelo de torneira em causa. Para tal, poderia submeter-se a mesma a um *bubble testing*, e com tempo e atenção, perceber a existência de alguma fuga visível. Dado que tanto este método como o de *pressure decay* têm uma sensibilidade de deteção de fugas muito idêntica, o método de *bubble testing* seria perfeitamente apto para esta primeira etapa;
- Medição do volume Após ser assegurada a não existência de fugas na torneira, poderia passar-se à medição do volume dos canais internos da mesma. Para tal, recorrendo à bancada experimental e todos os equipamentos integrantes, poderia fazer-se a medição do volume dos canais internos da torneira, tal como descrito no presente relatório de estágio;
- Manipulação da fórmula de *leak rate* Recorrendo novamente à equação 5.13, tendo como base o valor do volume da torneira previamente obtido, assim como o *leak rate* pretendido (ter como base o tipo de teste e os resultados obtidos neste relatório), calcular o valor de  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ . Caso seja pretendido um dado tempo de teste  $\Delta t$ , resta apenas calcular o abaixamento de pressão,  $\Delta P$ , ou vice versa;
- Otimização de tempos Por fim, por forma a otimizar o tempo de ciclo de teste de fugas, resta definir um tempo de estabilização e tempo de enchimento. Poderia à partida definir-se um tempo de estabilização e enchimento na ordem dos 15 segundos, e ir gradualmente diminuindo os mesmos, até se obter um valor de perda percentual de pressão entre 20% e 30%, dado pelo *Fortest* (ver figura 7.23, onde é evidenciada esta medida).

Desta forma, fica garantido um teste adequado, sem ser demasiado restritivo, e que funciona para qualquer modelo de torneira, das mais variadas características.

7.Diagnóstico, e propostas de melhoria

## Capítulo 8

## Conclusões

#### 8.1 Principais conclusões

Neste trabalho foi analisada a parametrização atualmente implementada na fábrica GROHE Albergaria, relativamente aos testes de estanquidade das torneias aí produzidas e montadas.

Primeiramente foi feita uma extensa contextualização teórica dos conceitos e formulações que sustentam a maioria dos métodos de *leak testing* atualmente em vigor, tanto na GROHE, como em outras indústrias. Esta opção foi tomada por forma a englobar num só documento, informação genericamente relevante, no que respeita à indústria e metodologias de deteção de fugas, e de certa forma, colmatar a falta de conteúdo, nomeadamente em português, referente a esta matéria, disponível em meios e plataformas científicas.

Com recurso a equipamento especializado na deteção de fugas, e diversos utensílios pneumáticos, assim como algum *software* de apoio já existente na empresa, foi possível testar uma vasta gama de torneiras e aferir o ponto de situação, relativamente aos parâmetros nos quais a empresa se baseia para conduzir os testes de estanquidade dos seus produtos, que até à data de conclusão deste estágio curricular era de certo modo desconhecido. Sempre houve a convicção que a parametrização estabelecida na empresa não seria totalmente desapropriada. Aliás, havia certezas que, dado o prestígio, volume de vendas e o total de reclamações, as diretrizes de medição e avaliação de fugas não poderiam estar completamente desviadas daqueles que foram os parâmetros alcançados neste estágio.

Foram testadas ao todo 24 torneiras no decorrer deste estágio, tendo sido claramente identificados alguns modelos com uma parametrização menos correta, nos três diferentes *streams*, cozinha, casa de banho e torneiras termostáticas. Por fim, foram sugeridos intervalos e valores concretos de modo a melhorar os padrões pelos quais os dispositivos *Fortest* são parametrizados. Sugestões de melhoria das fichas de parâmetros e o procedimento de calibração dos equipamentos de medição de fuga em utilização na empresa, com foco na marca *Fortest*, complementam a sugestão de melhorias a serem implementadas.

Por último, embora não tenha sido possível implementar alguns dos resultados como conceito de melhoria numa linha piloto, que seria o objetivo inicialmente estabelecido como conclusão final deste relatório de estágio, foi sim possível transpor e viabilizar diversos conceitos, assim como simular o teste de todos os modelos abordados, numa bancada móvel experimental, adquirida especificamente para o âmbito deste projeto. Com o término deste estágio, fazendo uma retrospectiva dos resultados obtidos, é possível concluir que os objetivos iniciais foram alcançados. Além das sugestões de melhoria apresentadas, expectáveis logo à partida que pudessem vir a existir, dada a ausência de intervenções de melhoria e investigação quanto à parametrização dos testes de fuga em aplicação na GROHE, foi possível desmistificar o modo como os mesmos têm sido conduzidos até à data. Ficou provado que, embora sejam eficazes, não são 100 % corretos, havendo margem para melhoria e otimização.

## 8.2 Desenvolvimentos futuros

De forma a manter e servir como guia de procedimentos de avaliação de estanquidade, e auxiliar na parametrização de futuros testes de fuga, replicando a metodologia experimental abordada neste relatório, sendo desta forma assegurada uma devida avaliação de torneiras a produzir pela GROHE, o presente relatório é deixado aos departamentos de engenharia e qualidade, os quais são responsáveis pela manutenção e formação de novos colaboradores quanto às técnicas e metodologias mais corretas na deteção e avaliação de fugas.

Tendo por base o presente relatório, a GROHE Albergaria poderá fazer uma alteração e otimização dos parâmetros de estanquidade das torneiras apontados como mais sujeitos de serem falíveis, nomeadamente nos tempos de estabilização de torneiras de maior volume.

Relativamente aos métodos e tecnologias de deteção de fugas, seria prudente avaliar a possibilidade de implementar alguns equipamentos que se baseiam em sistemas de diferencial de pressão (já existentes na unidade fabril), e estudar as melhorias que possam advir da troca por um sistema de perda de pressão, com especial foco no custo de *rework* e na taxa de rejeição de torneiras termostáticas por deteção de "falsas" fuga.

# Bibliografia

- LIXIL Group Corporation. <u>LIXIL Official Page</u>. URL: http://www.lixil.com (acedido em 02/01/2018).
- MultiMedia LLC. <u>GROHE PURE FREUDE AN WASSER Trademark Details</u>. 2018. URL: https://trademarks.justia.com/791/35/grohe-pure-freude-an-79135335.html.
- [3] GROHE AG. <u>GROHE History The tradition of the Masters of Technology.</u> 2017. URL: https://www.grohe.com/32238/about-company/grohe-history.
- [4] GROHE. <u>PÃigina oficial GROHE</u>. URL: https://www.grohe.pt/pt\_pt/ (acedido em 02/01/2018).
- [6] Hemi Sagi. "Advanced leak test methods". Em: ATC Inc (2001), pp. 1–6.
- [7] Yulin Li e Xianghong Liu. <u>Vacuum Science and Technology for Accelerator Vacuum</u>. URL: http://uspas.fnal.gov/materials/150DU/Session2\_GasSources.pdf (acedido em 05/01/2018).
- [8] Christopher J. Gamblin. Leak Test for Plant Operators. Rel. téc. Watco Compliance Services, LLC. URL: http://www.academia.edu/31092181/Leak\_Test\_ for\_Plant\_Operators\_-Christopher\_Gamblin.
- [9] J Davy. "Calculations for leak rates of hermetic packages". Em: <u>IEEE Transactions on Parts, Hybrids, and Packaging</u> 11.3 (1975), pp. 177– 189.
- [10] J William Marr. <u>Leakage testing handbook</u>. Vol. 952. National Aeronautics e Space Administration, 1968.
- [11] Inc. Cincinnati Test Systems. "How to Establish Acceptable Leak Rate Criteria for Automated Testing". Em: <u>Application Bulletin</u> 120 (2009), p. 7. URL: https:// www.cincinnati-test.com/images/AB120SettingAcceptableTestCriteria. pdf.
- [12] Marjan Drab Andrej Pregelj. "LEAK DETECTION METHODS AND DEFINING THE SIZES OF LEAKS". Em: NDT.net 4.2 (1999), p. 6.
- [13] INFICON GmbH. Leak Testing in the Automotive Industry. Rel. téc. INFICON GmbH, 2016.

- [14] Roque 345. Mean Free Path. URL: https://commons.wikimedia.org/w/index. php?curid=6894156 (acedido em 24/01/2018).
- Suzanne Desmulliez [15]Costello, Marc PY Stewart McCrace "Review ken. of used the test methods for measurement cavities". of hermeticity inpackages containing small Em: IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology 2.3 (2012), pp. 430–438.
- [16] Charles Bishop. <u>Vacuum deposition onto webs</u>, films and foils. William Andrew, 2011.
- [17] Catarina Gomes. <u>Teste de Estanqueidade: O que é?</u> URL: http://blog. europneumaq.com/teste-de-estanqueidade-o-que-e (acedido em 02/01/2018).
- [18] Ulf Helmersson et al. "Ionized physical vapor deposition (IPVD): A review of technology and applications". Em: Thin Solid Films 513.1-2 (2006), pp. 1–24.
- [19] Ceta. Ceta products. URL: https://www.cetatest.com/produkte/?L=1 (acedido em 18/02/2018).
- [20] Ateq. Ateq leaktesting products. URL: https://www.ateq-leaktesting.com/ products/ (acedido em 18/02/2018).
- [21] Fortest. Fortest Products. URL: https://www.fortest.com/en# (acedido em 18/02/2018).
- [22] GROHE. Para a sua casa de banhp. URL: https://www.grohe.pt/pt\_pt/banho. html (acedido em 05/05/2018).
- [23] GROHE. Para a sua cozinha. URL: https://www.grohe.pt/pt\_pt/cozinha. html (acedido em 05/05/2018).
- [24] GROHE AG. <u>GROHE ZERO TECHNOLOGY</u>. 2015. URL: http://www. onlygrohe.com/grohe-zero-technology (acedido em 03/05/2018).
- [25] Shilu Tong, Yasmin E von Schirnding e Tippawan Prapamontol. "Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions". Em: Bulletin of the World Health Organization 78 (2000), pp. 1068–1077.
- [26] GROHE AG. <u>GROHE ZERO TECHNOLOGY</u>. 2016. URL: https://www.grohe. co.uk/en\_gb/for-your-bathroom/masters-of-technology/cleantechnology-purest-pleasure.html (acedido em 03/05/2018).
- [27] Paula Alexandra da Cruz Saraiva. "Projeto de um molde de injeção". Tese de doutoramento. 2016.
- [28] F Castro e J Junqueira. "Latões para fundição". Em: CETEM, Editora do Minho, SA (1996).
- [29] Gilberto Martins Gonçalves. "Implementação de um sistema de controlo de processo e projeto de coquilha numa empresa de fundição". Tese de doutoramento. 2014.
- [30] Joaquim Barbosa. "Processos de fundição". Em: Universidade do Minho (2003).
- [31] ADMA Wilkinson e A McNaught. "IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (the" Gold Book")". Em: <u>International Union of Pure and Applied Chemistry</u> (1997).
- [32] Bastian E Rapp. <u>Microfluidics: Modeling, Mechanics and Mathematics</u>. William Andrew, 2016.
- [33] Jeff M Pryor e William C Walker. "Pressure change measurement leak testing errors". Em: Materials Evaluation 72.5 (2014).
- [34] KA Masavetas. "The mere concept of an ideal gas". Em: Mathematical and Computer Modelling 12.6 (1989), pp. 651–657.
- [35] R S Davis. "Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981/91)".
   Em: Metrologia 29.1 (1992), p. 67. URL: http://stacks.iop.org/0026-1394/29/i=1/a=008.
- [36] CETA. <u>CETA Newsletter №5</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2006. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_5\_E.pdf (acedido em 03/01/2018).
- [37] Inc. Cincinnati Test Systems. "Derivation of Pressure loss to Leak Rate Formula from the Ideal Gas Law". Em: <u>Application Bulletin</u> 143 (2004), p. 2. URL: https: //www.cincinnati-test.com/documents/PDFs/AB143.pdf.
- [38] J Amesz. Conversion of Leak Flow-Rates for various Fluids and Different Pressure. Rel. téc. European Atomic Energy Community, Ispra (Italy). Joint Nuclear Research Center, 1966.
- [39] Jan W Gooch. "Hagen-Poiseuille equation". Em: Encyclopedic Dictionary of Polymers. Springer, 2011, pp. 355–355.
- [40] Salvatore P Sutera e Richard Skalak. "The history of Poiseuille's law". Em: Annual Review of Fluid Mechanics 25.1 (1993), pp. 1–20.
- [41] Scott Wayne Keller. "Determination of the leak size critical to package sterility maintenance". Tese de doutoramento. Virginia Tech, 1998.
- [42] Brian M McGregor. Tropical products transport handbook. Rel. téc. 1989.
- [43] Jürn WP Schmelzer, Edgar D Zanotto e Vladimir M Fokin. "Pressure dependence of viscosity". Em: The Journal of chemical physics 122.7 (2005), p. 074511.
- [44] The Engineering ToolBox. <u>Air Dynamic and Kinematic Viscosity</u>. URL: https: //www.engineeringtoolbox.com/air-absolute-kinematic-viscosity-d\_ 601.html (acedido em 14/03/2018).
- [45] Anton Paar. <u>Viscosity of Aviation Fuels</u>. URL: https://wiki.anton-paar.com/ en/aviation-fuels/ (acedido em 14/03/2018).
- [46] Engineering ToolBox. <u>Air Molecular Weight and Composition</u>. 2004. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/molecular-mass-air-d\_679.html (acedido em 24/04/2018).
- [47] Paulo Coelho. Tabelas de termodinâmica. FEUP Edições, 2007.
- [48] Joseph J Martin. "Equations of state Applied thermodynamics symposium". Em: <u>Industrial & Engineering Chemistry</u> 59.12 (1967), pp. 34–52.

- [49] CETA. <u>CETA Newsletter №5</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2005. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_2\_E.pdf (acedido em 03/01/2018).
- [50] KVS Vakuum UND Lecksuchtechnik. <u>Leak Detection with Tracer Gas Methods</u>. 2015. URL: http://leakdetection-technology.com (acedido em 03/04/2018).
- [51] Net Industries e its Licensors. <u>Capillary Action</u>. URL: http://science.jrank. org/pages/1182/Capillary-Action.html#ixzz5DzG7195AA.
- [52] G Jolly Vogt. Vogt Valves: a Treatise on Leakage. Rel. téc. United States: FLOW-SERVE, 2004.
- [53] CETA. <u>CETA Newsletter №16</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2010. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_16\_E.pdf (acedido em 03/01/2018).
- [54] CETA. <u>CETA Newsletter №20</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2012. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_27\_E.pdf (acedido em 06/01/2018).
- [55] CETA. <u>CETA Newsletter №16</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2009. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_13\_E.pdf (acedido em 06/01/2018).
- [56] CETA. <u>CETA Newsletter №27</u>. Rel. téc. 49 (0) 2103 2471 0. CETA Testsysteme GmbH, Marie-Curie-Str. 35-37, 40721 Hilden: CETA Testsysteme GmbH, 2016. URL: https://www.cetatest.com/fileadmin/pdf/neuigkeiten\_englisch/ CETA\_Newsletter\_27\_E.pdf (acedido em 06/01/2018).
- [57] Oerlikon Leybold Vacuum. Fundamentals of vacuum technology. 2007.
- [58] LC Beavis. "Real leaks and real leak detection". Em: <u>Vacuum</u> 20.6 (1970), pp. 233– 245.
- [59] Technetics Group. Leak Rates. URL: https://web.kamihq.com/web/viewer. html?document\_identifier = edf30534 - e63e - 43ce - 8f1e - e6d9f484c3e4 & filename=leak\_rates.pdf (acedido em 04/06/2018).
- [60] Pfeiffer-vacuum. <u>Types of Flow</u>. URL: https://www.pfeiffer-vacuum.com/en/ know-how/introduction-to-vacuum-technology/fundamentals/types-offlow/ (acedido em 06/04/2018).
- [61] Charles Hellier. <u>Handbook of Nondestructive Evaluation</u>. Vol. 10. Mcgraw-hill New York, 2001.
- [62] M Bergoglio e D Mari. "Leak rate metrology for the society and industry". Em: Measurement 45.10 (2012), pp. 2434–2440.
- [63] ForTest Italia Srl. <u>The industrial leak testing</u>. 2017. URL: http://www.fortest. com/en/the-industrial-leak-testing (acedido em 12/12/2017).
- [64] Fortest. Theory The industrial leak testing. URL: https://www.fortest.com/ en/the-industrial-leak-testing (acedido em 20/12/2017).

- [65] AJ Bialous, PH Peters e EE Stone. "Leakage Testing Handbook". Em: (1969).
- [66] Vacuum Engineering Services Ltd. <u>LEAK TESTING METHODOLOGIES</u>. URL: http://vac-eng.com/wp-content/uploads/LEAK%20TESTING% 20METHODOLOGIES.pdf (acedido em 15/04/2018).
- [67] Robert C McMaster. "Handbook of Nondestructive Testing". Em: Inc., Columbus, Ohio (1959).
- [68] Gerald L Anderson. "How Sensitive is a Bubble Test". Em: <u>The NDT Technician</u> 11.4 (2012), pp. 6–8.
- [69] url = http://trubamaster.ru/razvodka/perenesti-gazovuyu-trubu-nauchastke.html-urldate = 2018-03-23 TrubaMaster title = Transfer the gas pipe in the apartment and on the site: how to do it correctly.
- [70] Charles Henrickson. <u>Chemistry. Cliffs Notes</u>. Rel. téc. ISBN 0-764-57419-1. http://en. wikipedia. org/wiki/[6 Desember 2008], 2005.
- [71] Harald Westgaard. "Practical aspects of high vacuum leak detection". Em: <u>Vacuum</u> 20.4 (1970).
- [72] Boqin Gu e Xinglu Huang. "Investigation of leak detection method by means of measuring the pressure increment in vacuum". Em: <u>Vacuum</u> 80.9 (2006), pp. 996– 1002.
- [73] CETA. Leak Detection. Rel. téc. CETA Testsysteme GmbH, abr. de 2005. URL: https://www.cetatest.com/information/leak-detection/?L=1 (acedido em 06/01/2018).
- [74] FUKUDA. Principles and Mechanism of Air Leak Test. URL: http://www.fukuda-jp.com/en/leak/f02/ (acedido em 15/04/2018).
- [75] John Perkins. What is the difference between a pressure decay leak test and a flow. 2011. URL: http://www.sciemetric.com/dearjohnapr (acedido em 08/05/2018).
- [76] ForTest Italia Srl. <u>Air leak testing</u>. 2017. URL: http://www.fortest.com/en/airleak.testing (acedido em 13/12/2017).
- [77] Inc. Cincinnati Test Systems. <u>Mass Flow Meter Technology</u>. URL: https://www. cincinnati-test.com/mass-flow-test-systems-and-instrumentation.html (acedido em 15/05/2018).
- [78] CETA. <u>Theory The industrial leak testing</u>. URL: https://www.cetatest.com/ information/mass-flow-test/?L=1 (acedido em 21/02/2018).
- [79] Inc. Cincinnati Test Systems. "Direct Mass Flow vs. Differential Mass Flow Tests".
   Em: <u>Application Bulletin</u> 162 (2009), p. 4. URL: https://www.cincinnati-test.com/documents/PDFs/ab162.pdf.
- [80] The Shower Doctor. <u>Grohe Chiara Aquadimmer cartridge 12433000</u>. URL: https: //www.showerdoc.com/grohe-aquadimmer-for-chiara-12433000 (acedido em 04/06/2018).
- [81] Eva Nick e R de O Sheilah. <u>Fundamentos de estatística para as ciências do compor</u>. Editôra Renes, 1971.

[82] Paulo Lima Júnior e Fernando Lang da Silveira. "Discutindo os conceitos de erro e incerteza a partir da tábua de Galton com estudantes de graduação: uma contribuição para a incorporação de novas abordagens da metrologia ao ensino de física superior". Em: <u>Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 28, n. 2.</u> (2011).

# Apêndice A

# Anexos

	Viscous flow	Knudsen flow	Molecular flow
	Low vacuum	Medium vacuum	High / Ultra-high vacuum
Pressure range [hPa]	1031	110-3	< 10-3 bzw. < 10-7
Pressure range [Pa]	10510 2	10210 -1	< 10-1 bzw. < 10-5
Knudsen number	<i>Kn</i> < 0.01	0.01 <i>&lt; Kn &lt;</i> 0.5	<i>Kn</i> > 0.5
Reynolds number	Re < 2,300: Iaminar Re > 4,000: turbulent		
p∙d [hPa cm]	p · d > 0.6	0.6 > p · d > 0.01	p · d < 0.01

Tabela A.1: Diferentes regimes de fluxo



Figura A.1: Conversão gráfica de uma fuga de ar para água



Figura A.2: Folha de calibração atual, com falhas e incoerências

GROHE	Ficha d	le Parâmetr	os de Testes	s de Ar	TTM/AL
Produtos: Ba	nheira Termostáti	ca		Tipo de CETA/ATEQ	SPS nº: 02
Corpos: 405	940/64 590/400 359/4	00 360/400 394 (SMO 1	16500)	Teste	Linhas: TH01/02/03
Programa	Programa 3	Programa 4	Programa 5	Programa	Programa
Tipo de teste	Tipo de teste	Tipo de teste	Tipo de teste	Tipo de teste	Tipo de teste
Circulação	Estanquidade	Estanquidade	Estanquidade	Estanquidade	Estanquidade
Avanço	Avanço	Avanço	Avanço	Avanço	Avanço
S	<b>0,0</b> s	<b>0,0</b> s	<b>0,0</b> s	S	S
Enchimento	Enchimento	Enchimento	Enchimento	Enchimento	Enchimento
s +/- s	<b>4,0</b> s <b>+/- 1,0</b> s	<b>4,0</b> s <b>+/- 1,0</b> s	<b>4,0</b> s <b>+/- 1,0</b> s	s +/- s	S +/- S
pressão tol. sup. bar bar	pressão enc. tol. sup. 3,00 bar 0,50 bar	pressão enc. tol. sup. 3,00 bar 0,50 bar	pressão enc. tol. sup. 3,00 bar 0,50 bar	pressão enc. tol. sup.	pressão enc. tol. sup.
tol. inf.	tol. inf.	tol. inf.	tol. inf.	tol. inf.	tol. inf.
Uai	By 0,5 s Pressão desligado bar	By 0,3 s Pressão desligado bar	By 0,5 pass Pressão desligado bar	By pass Pressão bar	By pass Pressão bar
	Estabilização	Estabilização	Estabilização	Estabilização	Estabilização
	4,5 s +/- 1,0 s	4,5 s +/- 1,0 s	4,5 s +/- 1,0 s	s +/- s	S +/- S
	Medição	Medição	Medição	Medição	Medição
	pressão sup: + 150 Pa	pressão sup: + 150 Pa	pressão sup: + 150 Pa	pressão sup: + Pa	pressão sup: + Pa
	pressão inf: - 90 Pa	pressão inf: - 90 Pa	pressão inf: - 90 Pa	pressão inf: - Pa	pressão inf: - Pa
Ventilação s	Ventilação	Ventilação 0,0 s	Ventilação 0,0 s	Ventilação s	Ventilação s
Comentários					
Validado					
TI/AL:		TTM/AL:		D	ATA:

Tabela A.2: Ficha de parâmetros para medidores CETA & Ateq

			1	-		PARÂ	METROS ALE	ERGARIA										
prod. familie	testing conditions	accuracy	AL Atec	AL Ceta	Al Fortes	Test sequence	Test Type	set pressure	+Tol	-Tol	Fill time	Stab time	Test time	Dump time	Press unit	Leak unit	Limt value +	Limt value -
Prod. Familie	Test Zustand	Genauigkeit	11-	11=		Prüf schritt	Prüfart	Prüfdruck			Füllzeit	Stab. zeit	Mess zeit	Entlüft. zeit	Druck Einheit	Prüf Einheit	Durckabf. Grenze +	Durckabf. Grenze -
Bath Essence	Flowcheck on inlet 1, the cartridge is open and in middle of temperature position, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			5	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Bath Essence	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			6	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Bath Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is closed	midle			1	3	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Ра	150	0
Bath Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	midle			2	4	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Bath Essence	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is closed, the diverter is pull to shower outlet , the shower outlet is open to the ambient pressure	high			3	5	Leckage	3	-	-	1	1	1,5	0	bar	Ра	80	0
Bath Essence	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low			4	6	Leckage	3	-	-	1	1	1,5	0	bar	Pa	80	0
Bath Eurosmart	Flowcheck on inlet 1, the cartridge is open and in middle of temperature position, the diverter is yoult to shower outlet , the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			5	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Bath Eurosmart	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			6	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Bath Eurosmart	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is closed	midle			1	3	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Bath Eurosmart	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	midle			2	4	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Bath Eurosmart	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is closed, the diverter is pull to shower outlet , the shower outlet is open to the ambient pressure	high			3	5	Leckage	3	-	-	1	1	1,5	0	bar	Pa	80	0
Bath Eurosmart	Leaktes pressure on one mark (crossilow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low			4	6	Leckage	3	-	-	1	1	1,5	0	bar	Pa	80	0
Shower Eurosmart	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			9	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Shower Eurosmart	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			10	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Shower Eurosmart	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the shower outlet is closed	midle			12	3	Leckage	3	-	-	4	3,5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Shower Eurosmart	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	high			13	4	Leckage	3	-	-	0	1	1	0	bar	Pa	150	0
Shower Eurosmart	Leaktest pressure on one inter (crosshow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low			14	5	Leckage	3	-		0	1	1	0	bar	Pa	80	0
Shower Essence	Flowcheck on inlet 1, the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			5	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	•	•	•
Shower Essence	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values			6	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Shower Essence	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the shower outlet is closed	midle			1	3	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Shower Essence	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	high			7	4	Leckage	3	-	÷	0	1	1,5	0	bar	Pa	150	0
Shower Essence	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low			8	5	Leckage	3	-	-	0	1	1,5	0	bar	Pa	80	0

prod. familie	testing conditions	accuracy	AL Atec	AL Ceta	Al Fortes	Test	Test	set	+Tol	-Tol	Fill	Stab	Test	Dump	Press	Leak	Limt value +	Limt value -
Prod.	Test Zustand	Genauigkeit	nº	nº	t nº	Prüf	Prüfart	Prüfdruck			Füllzeit	Stab.	Mess	Entlüft.	Druck	Prüf	Durckabf.	Durckabf.
Basin- Bidet ESM	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the			4	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	2eit	-	-	-	-	-	-
Basin- Bidet ESM	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			1	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Basin- Bidet ESM	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	midle			2	3	Leckage	3	-	-	3	4	1,5	0	bar	Pa	150	0
Basin- Bidet ESM	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	high			3	4	Leckage	3	-	-	0	0,5	1,5	0	bar	Ра	150	0
Basin- Bidet ESM	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, carridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	low			5	5	Leckage	3	-	-	0	0,5	1,5	0	bar	Pa	80	0
Kitchen BAU	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			4	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Kitchen BAU	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			1	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-		-	-
Kitchen BAU	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	midle			2	3	Leckage	3	-	-	4	4	1,5	0	bar	Pa	150	0
Kitchen BAU	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	high			3	4	Leckage	3	-	-	0	1	1	0	bar	Pa	150	0
Kitchen BAU	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	low			5	5	Leckage	3		-	0	1	1	0	bar	Pa	80	0
Kitchen Eurosmart Grohe 0	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			4	1	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Kitchen Eurosmart Grohe 0	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values			1	2	Flowcheck	1,2-0,1	-	-	1	1	-	-	-		-	-
Kitchen Eurosmart Grohe 0	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	midle			2	3	Leckage	3	-	-	5	5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Kitchen Eurosmart Grohe 0	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	high			3	4	Leckage	3	-	-	0	1	1	0	bar	Pa	80	0
Kitchen Eurosmart Grohe 0	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	low			5	5	Leckage	3	-	-	0	1	1	0	bar	Pa	80	0
	= high accuracy / Hohe Dichtigkeitsanforderung																	
	= low accuracy / niedrige Dichtigkeitsanfoderung																	
						PA	RÂMETROS H	IEMER										
prod. familie	testing conditions	accuracy	AL Atec nº	AL Ceta	Al Fortes t nº	Test sequence	Test Type	set pressure	+Tol	-Tol	Fill time	Stab time	Test time	Dump time	Press unit	Leak unit	Limt value +	Limt value -
Prod. Familie	Test Zustand	Genauigkeit				Prüf schritt	Prüfart	Prüfdruck			Füllzeit	Stab. zeit	Mess zeit	Entlüft. zeit	Druck Einheit	Prüf Einheit	Durckabf. Grenze +	Durckabf. Grenze -
Bath	Flowcheck on inlet 1, the cartifige is open and in middle of temperature position, the diverter is pull to shower outlet , the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values				1	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Bath	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values				2	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is closed	midle				3	Leckage	3	0,5	0,5	5	7	1,5	0	bar	Pa	150	0
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	midle				4	Leckage	3	0,5	0,5	3	6	1,5	0	bar	Pa	150	0

prod. familie	testing conditions	accuracy	AL Atec nº	AL Ceta nº	Al Fortes t nº	Test sequence	Test Type	set pressure	+Tol	-Tol	Fill time	Stab time	Test time	Dump time	Press unit	Leak unit	Limt value +	Limt value -
Prod. Familie	Test Zustand	Genauigkeit				Prüf schritt	Prüfart	Prüfdruck			Füllzeit	Stab. zeit	Mess zeit	Entlüft. zeit	Druck Einheit	Prüf Einheit	Durckabf. Grenze +	Durckabf. Grenze -
Bath	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is closed, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is open to the ambient pressure	high				5	Leckage	3	0,5	0,5	0	1	2	0	bar	Pa	150	0
Bath	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low				6	Leckage	3	0,5	0,5	0	1	1	0	bar	Pa	150	0
Bath Shower Basin- Bidet	Fillprogramm for - bath if the operator is repeat the testsequence 5 or 6 (Atec 4 or 5) - obwer if if the operator is repeat the testsequence 4 or 5 (Atec 5 or 7) - basin/bidet if if the operator is repeat the testsequence 4 or 5 (Atec 10 or 11)	-					only for filling	3	0,5	0,5	5	10	1	0	bar	Pa	0	0
Shower	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values				1	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Shower	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the shower outlet is open	tool-setter must adjust the best values				2	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Shower	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the shower outlet is closed	midle				3	Leckage	3	0,5	0,5	5	7	1,5	0	bar	Pa	150	0
Shower	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	high				4	Leckage	3	0,5	0,5	0	1	2	0	bar	Pa	150	0
Shower	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, carridge is closed, the shower outlet is open to the ambient pressure	low				5	Leckage	3	0,5	0,5	0	1	1	0	bar	Pa	150	0
Basin- Bidet	Flowcheck on inlet 1 , the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values				1	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Basin- Bidet	Flowcheck on inlet 2, the cartridge is open and in middle of temperature position, the mouseur outlet is open	tool-setter must adjust the best values				2	Flowcheck	2,65	2,63	0,5	2	0	-	0,5	-	-	-	-
Basin- Bidet	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	midle				3	Leckage	3	0,5	0,5	3	4,5	1,5	0	bar	Pa	150	0
Basin- Bidet	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	high				4	Leckage	3	0,5	0,5	0	0,5	2	0	bar	Ра	150	0
Basin- Bidet	Leaktest pressure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, carridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	low				5	Leckage	3	0,5	0,5	0	0,5	1	0	bar	Pa	150	0
	= high accuracy / Hohe Dichtigkeitsanforderung																	
	= midle accuracy / Mittlere Dichtigkeitsanforderung											_						-
1i		1	1		L	L		1	1	L			L		l		L	

Tabela A.3: Ficha de parâmetros para medidores CETA & Ateq

									Text	tint (interview)	102 0-2-05-100	L.R.CC/min	
Stream	SKU	SKU.Descripton	w	later Ways Descript	Volumes	Test Conditions	Condicions Descri	Vtest part[mi]	time	value +	(i)		
		Eurosmart 2015 OHM sink low		Hot water way	16,7	Cartridge Opene	an booth inlets, cartridge is open.	44,7	1,5	150	100	2,68	
	33281002	spout	Tubo 406099040-DN6 L450	Cold water way	16,7	Cartridge Closed	an booth inlets, cartridge is	11,4	1	80	80	1,60	
		(Corpo 16520040)		MX water way	11,3	Crossflow Test	on one inlet	11,3	1	80	80	0,54	T
				Hot water way	5,0	Cartridge Opene	an booth inlets,	14,0	1,5	150	100	0,84	
	33202002	Eurosmart 2015 OHM sink high spout	DN6 L450	Cold water way	5,0	Cartridge Closed	an booth inlets	10,0	1	80	80	0,48	
		(Corpo 405908038 & 405909038)		MX water way	4.0	Crossflow Test	cartridee is Leaktest pressure on one injet	5.0	1	80	80	0.24	
				Mat and the same	17.0	Control days One way	(steafen), the		14	150	100.0		
				The same way	11,0	Cartinge Opene	CENTER JARSON	47,4	4,4	110	200,0	2,65	Ť
	30305000		Tubo 406100040-DN6 L600	Cold water way	17,0	Cartridge Closed	cartridee is Leaktest pressure	34,0	1	80	80,0	1,63	
				MIX water way	13,0	Crossflow Test	on one inlet (crostficer), the	17,0	1	80	80,0	0,82	
				Hot water way	17,0	Cartridge Opene	an booth inlets, cartridge is open.	47,0	1,5	150	100,0	2,82	
Kitchen OHM	30306000	2015 OHM sink low sp.ex.spray	Tubo 407725040- DN6 L900	Cold water way	17,0	Cartridge Closed	an booth inlets, cartridge is	34,0	1	80	80,0	1,63	
				MIX water way	13,0	Crossflow Test	on one inlet (crostflow), the	17,0	1	80	80,0	0,82	
				Hot water way	17,0	Cartridge Opene	an booth inlets,	47,0	1,5	150	100,0	2,82	
	30317000		Tubo 406104040 - DN6 L450	Cold water way	17,0	Cartridge Closed	an booth inlets,	34,0	1	80	80,0	1,63	
				MX water way	13,0	Crossflow Test	cartridge is Leaktest pressure on one inlet	17,0	1	80	80,0	0,82	
				Hot water way	16,5	Cartridge Opene	(crostical) the Leaktest pressure on booth inless	43,0	1,5	150	100,0	2,58	
	31368000		Tubo 406363040-DNC 1460	Cold water com	16.5	Carridge (T	Cartrider is open			150	150.0	242	
	31398000	Read and Ohld sigh surjust		cons water way	10,5	-avinge Closed	certridee is Leaktest pressure	*1,0	1	150	0,014	6,37	
		(Corpo 406778240)		MDC water	10,0	Crossflow Test	on one inlet (crostfow), the Leaktest pressure	16,5	1	80	80,0	0,79	
				Hot water way	16,5	Cartridge Opene	an booth inlets,	43,0	1,5	150	100,0	2,58	До
	30335000		Tubo 406369040-DN6 L600	Cold water way	16,5	Cartridge Closed	an booth inlets, certridee is	33,0	1	150	150,0	2,97	
				MIX water way	10,0	Crossflow Test	on one inlet (crostflow), the	16,5	1	80	80,0	0,79	
				Hot water way	15,0	Cartridge Closed	an booth inlets,	62,5	1,5	80	53,3	2,00	1 <del>9</del> Parts
				Cold water way	47,5	Cartridge Opene	an booth inlets,	94,5	1,5	150	100,0	5,67	
	406862040	Chuv. OHM Euph	ioria montado	vater way - Wall SP	32,0	Cartridge Opene	an booth inlets,	114,5	1,5	150	100,0	6,87	
				X water way - Spo	52.0	Cartridae Opene	cartridge is open. Crattell precore on booth inlets.	85.5	1.5	150	100.0	5.13	
				a mar and a film	220	Concentione Test	carbridee is open. Leaktest pressure	15.0	15	**		0.44	
				water way - trive	23,0	Crossion res	Internet inter Internet internet	15/4	1,3		53,3	0,45	
				Hot water way	3,5	Cartridge Clesed	the cartridge is castration precision	7,0	1,5	80	53,3	0,22	
	32836000	Eurosmart Cosmopolitan	mon.banh.Monotrou	Cold water way	3,5	Crossflow Test	on one inlet (crossflow), the Leakted pressure	3,5	1,5	80	53,3	0,11	
Bath OHM				ix water way - Spo	55,5	Cartridge Opene	an booth inlets, the cartridee is	62,5	1,5	150	100,0	3,75	
				water way - Diver	39,5	Cartridge Opene	d on booth inlets, the cartridge is	46,5	1,5	150	100,0	2,79	
				Hot water way	16,0	Cartridge Closed	an booth inlets,	126,5	1,5	80	53,3	4,05	
				Cold water way	110,5	Crossflow Test	Leaktest pressure on one inlet	16,0	1	80	80,0	0,77	
	33624001	Essence New O	HM bath exp	ix water way - Spo	88,5	Cartridge Opene	an booth inlets,	215,0	1,5	150	100,0	12,90	
				water way - Diver	50.5	Cartridae Opene	the cartridge is cristical protocole on booth inlets.	177.0	1.5	150	100.0	10.62	
				Hat water are	pa e	Cartridae Onco-	the cartridge is ceased pretoure	211.6	15	100	100.0	12 41	
	3362000		M chowar ava	Cold as the way		Cunsid	CALIFORNIA AND AND AND AND AND AND AND AND AND AN				1000		
	33636001	Essence New OH	w snower exp	cold water way	105,0	Cartridge Closed	on booth wets, centridee is ceatter precours	119,5	1,5	80	53,3	3,82	
				MIX water way	94,0	Crossflow Test	on one inlet (crostfice), the ceased pressure	14,5	1,5	80	53,3	0,45	
				Hot water way	9,5	Cartridge Opene	d on booth inlets, the acuadimmer	126,5	1,5	150	100,0	7,59	
	34155003	GRT 1000 New TH	V bath exp 1/2"	Cold water way	109,0	Cartridge Opene	an booth wets, the poyed mmer	158,5	1,5	150	100,0	9,51	OT PO
		Shi 1000 New Thi		ix water way - Spo	25,5	Cartridge Closed	on booth inlets,	118,5	1,5	80	53,3	3,79	
				cwater way - Show	8,0								
				Hot water way	53,5	Cartridge Closed	an booth inlets,	83,5	1,5	80	53,3	2,67	
				Cold water way	9,5	Cartridge Opene	Cestele Carbody Cesteler precone on booth wets.	144,5	1,5	150	100,0	8,67	
	34567000	GRT 800 THM b	ath exp 1/2"	is water www.f	g1 c	Cartridae Onco-	Castela Carbody	pre	15	Ico	100.0	6.31	
					-4,4	oge opelle	Cantelo Cabodur						
				water way - Diver	50,0	-	ceasted pressure		-		-		
Thermostatic THM				Hot water way	34,5	Cartridge Closed	on booth inlets, Castelo Carbody, Leaktest pressure	117,0	1,5	80	53,3	3,74	
	34065002	GRT 1000 Cosmo M ter	mostática duche par.	Cold water way	10,0	Cartridge Opene	d on booth inlets, Castelo Carbodur	122,0	1,5	150	100,0	7,32	
				Mix water way	77,5								
				Hot water way	26,5	Cartridge Opene	on booth inlets,	89,5	1,5	150	100,0	5,37	
				Cold water way	7,5	Cartridge Opene	an booth inlets,	76,5	1,5	150	100,0	4,59	
	403847240	Rainshower mont. cart	. C3, manip. plást???	Rx water way - Rai	\$5,5	Cartridge Closed	an booth inlets,	69,0	1,5	80	53,3	2,21	
				water way - Show	42,5		the aquadimmer						
				Hot water a	-	Castridea (T	Leaklest pressure	-	15			0.00	
						Consider Crossic	Castela Carbody	1		~	20,2	0,00	FO
	34558000	GRT 800 THM sh	ower exp 1/2"	Cold water way		Cartridge Opene	Castelo Carbodur Leaktest pressure		1,5	150	100,0	0,00	6
				Mix water way			on booth inlets, the cartridee is						

Tabela A.4: Folha excel para o cálculo do leak rate

# T8990

**ABSOLUTE DECAY** UNIVERSAL LEAK TESTER.



#### A touch of innovation.

The new T8990 leak tester was designed to improve what was considered the best device in ForTest's history, the M8990. Considered the best device in For lest s history, the M8990. The new video controller "ForTest MMI" brought a superior level of human-machine interaction, thanks to an innovative capacitive panel in tempered glass, around a splendid 6.2" colour display. Parameter programming is much faster thanks to the new numerical keyboard integrated in the menus, and the big display makes viewing even clearer of the test cycle.

The main screen also enables interaction with shortcut functions, such as test program change, "smart" test archive menu and locking/unlocking using a password.



#### Limitless connectivity.

The new T8990 equipment includes ports for the USB slave, RS232, RS485, Can bus and TTY. Assembly may also include an optional Ethernet port and a 26-pole connector with 4 inputs and 8 outputs, which are completely programmable, for interfacing with the external valves, safety barriers, switches, etc... The front panel has a master USB port assembled on it for connection to a USB key to save the tests conducted, backup/

restore parameters and upgrade tool firmware.

The connection to thermal printers, barcode/data-matrix readers and markers takes place automatically using an internal menu.





#### Always better measurements.

The test cycle was further accelerated thanks to processor and coprocessor interaction, maintaining the reliability that has always made ForTest unique.

We can say with certainty that T8990 avails of the most advanced measurement section in the world, thanks to the centring technology in windows and the double Faraday optical-isolated

cage, which reduces the settling times under 18 ms. This gives a real measurement resolution of 0.1 Pa at 1 bar (0.5 Pa at 6 bar), stable and noise-free.







Optimised pneumatic section.

Assembly of the latest generation solenoid valves has enabled a 30% increase in the filling speed compared to the previous model, maintaining reliability unaltered over time. Our tools do not require expensive maintenance in the pneumatic department. Actually, our objective is to make them increasingly reliable and long-lasting.



#### Innovative design.

What appears to be a simple design exercise, in fact hides an in-depth study to make use and understanding of the tool as simple as possible.

The front panel is made of a single sheet of tempered glass and aluminium, which makes it extremely easy to clean, making the T8990 suitable for use in the laboratory and on the production line The extensive internal menus are easy to understand and the graphic interface was designed to only display important information.

Everything is exactly where it should be.



ForTest Italia s.r.l. - Comparto Alfieri Maserati, Sez. 2A - Via Sibilla Aleramo 7 - 41123 Modena (MO) - ITALY - Tel: +39 059 557250 - Fax: +39 059 579022 www.fortest.com - info@fortest.com

#### 135

FORTEST

# T8990



Absolute decay universal leak tester.

Model	0-1 bar	1-2 bar	2-6 bar	6-10 bar	10-20 bar	20-50 bar							
Dp / flow accuracy	0,5% RDG+3DGT	0,5% RDG+3DGT	0,5% RDG+3DGT	0,5% RDG+3DGT	0,5% RDG+3DGT	0,5% RDG+3DGT							
Dp / flow measurement range	0-65 mbar	0-65 mbar	0-65 mbar	0-65 mbar	0-65 mbar	0-65 mbar							
Dp / flow resolution	0,001 mbar	0,002 mbar	0,005 mbar	0,01 mbar	0,1 mbar	0,1 mbar							
Filling pressure accuracy	0,5%FS	0,5%FS	0,5%FS	0,5%FS	0,5%FS	0,5%FS							
Filling pressure measurement range	0-FS	0-FS	0-FS	0-FS	0-FS	0-FS							
Filling pressure resolution	0,1 mbar	0,1 mbar	0,1 mbar	1 mbar	1 mbar	10 mbar							
Leak measurement accuracy in cc/'	1%RDG+0,03cc/min	1%RDG+0,03cc/min	1%RDG+0,03cc/min	1%RDG+0,03cc/min	1%RDG+0,03cc/min	1%RDG+0,03cc/min							
Leak measurement range in cc/'	0-10 cc/min	0-10 cc/min	0-10 cc/min	0-10 cc/min	0-10 cc/min	0-10 cc/min							
Leak measurement resolution in cc/'	0,01 cc/min	l cc/min 0,01 cc/min 0,01 cc/min 0,01 cc/min 0,01 cc/min 0,01 cc/min											
Volume measurement accuracy in cc/'	1%RDG+2cc/min	kRDG+2cc/min         1%RDG+2cc/min         1%RDG+2cc/min         -         -											
Volume measurement range in cc/'	0-500 cc	00 cc 0-500 cc 0-500 cc											
Volume measurement resolution in cc/'	0,1 cc/min	1 cc/min 0,1 cc/min 0,1 cc/min											
Unit of measurement	mbar, bar, psi, mmHg, n	nmH2O, Pa, HPa, cc/min, e	cc/h, pressure/s.										
Dimensions	270X160X300 mm												
Weight	8 kg												
Display dimensions	800x280 pixel												
Working temperature range	5-40 °C												
Port RS232	2												
Port RS485	1												
"Master" USB port	1												
"Slave" USB port	1												
Ethernet port	Optional												
I/O signals	Start, Stop, Filling, Test, Good, Reject, 4BCD												
Auxiliary I/O signals (optional)	8 output programmabl	e, 4 input programmable	, 4BCD										
New programs	300												
Test archive memory	Avanced												
Lock with password	Yes												
Program name	Yes, 16 characters												
Reference norms	EN 61010-1, EN61326-1 EN61000-4-3 / EN61000	/ EN61326/A1, EN61000- -4-3/A1 / EN61000-4-3/A	-3-2 / EN61000-3-2/A14, E 2, EN61000-4-4, EN61000	N61000-3-3 / EN61000-3 -4-5, EN61000-4-11, EN1	-3/A1, EN61000-4-2 / EN6 779	i1000-4-2/A1,							

ForTest Italia s.r.l. - Comparto Alfieri Maserati, Sez. 2A - Via Sibilia Aleramo 7 - 411\_\_\_\_\_\_\_\_ www.fortest.com - Info@fortest.com

# T8990

#### **ABSOLUTE DECAY** STANDARD-LEVEL LEAK **TESTER**

#### ACCESSORIES

- External exhaust solenoid with protection filter
  3 way pneumatic valve
- Pilotage solenoid
  5 way Pneumatic valve
- External start button
- External start/abort pushbutton
- External pushbutton 4 programs selection
- Start pedalBarcode reader
- Adhesive label for printer 4500pcsAux signals extension cable
- Venturi Vacuum generatorAir filter

- Staubli male connectorPrecision micrometer nozzle
- Micrometer nozzle
- OPTIONALS
- Interior exhaust valve
- Pneumatic filling fast
  Pneumatics with micro electro valves
- Kit sniffer Hydrogen H2Frontal connector for Staubli calibrated leak
- Frontal precision pressure regulator
   Electronic pressure Regulator
   Auto zero primary pressure circuit

- Positive test and negative test
- Pre-Filling
  Waiting Primary pressure reading

FORTEST

- M series manager software
   TTY
   Serial protocol
   Electrovalve group "cylinder's" type with filter
   Protocol to the protocol Electrovalve group "cylinder's" type wil
   PC serial cable owner ---> M Series
   External temperature probe
   3-way pneumatic valve with pilot valve
   MIXER-07
   Software Data Manager
   Staubli female fitting
   Thermal printer with peel-off
   Thorgan Lecture of the series

- Thermal printer without peel
   Adapter cable AUX M Series ---> ET Series
   Remote Start / Abort / Good / Reject
- Air filter 5 micron
- Secondary Output of Waste (third result)
- Leak Analog Output
  I/O 24 Vdc expansion signal card
- Bi-manual logic Start Input
   Ethernet plug/TCP-IP
   Active USB port
   WI-FI connection

- Radio remote control selection Kit
  High resolution measure (STANDARD)
  Capacitance meter for piece volume measure
- Double branches of pre-regulated pressures

ForTest Italia s.r.l. - Comparto Alfieri Maserati, Sez. 2A - Via Sibilla Aleramo 7 - 41123 Modena (MO) - ITALY - Tel: +39 059 557250 - Fax: +39 059 579022 www.fortest.com - info@fortest.com

Figura A.3: Datasheet T8990







Criatividade e Inovação em Aplicações Industricis Europneumaq - Equipamentos Pneumáticos e Hidráulicos, Lda. Sociedade por Quotas - Capital Social 170.000€ Contribuinte nº 504 699 563 - C.R.C. Vila Nova de Gaia

Grohe Portugal, Lda

#### Proposta

Proposta Original						Apa 385	rtado 16 0-184	67	A	LBERGAR	IA-A-\	/ELHA		
Número	Data	<b>V</b> /	Referência	Validade	Propos	sta	Cond. I	Pagament	to	Cliente	224	Fax	Con	tribuinte
340	22/01/20			60	ulas	_	00 D			001373	234	529 915	503	011905
Arti T8990 -1/+3 ba	go	Absolute p	Descrição		Qtd. 1.00	Comp	Larg	Qt. Tot	Un	Prazo Ent	rega úteis	Preço		Valor
10000 11/0 54		touch scree	en leak tester T89	90	0,00			0,000	0.1	15 a 20 ulas	uters			
O016		Internal ext	naust valve (optio	nal)	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
O032-12		Electronic p	pressure regulato	r 6bar (1/8")	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
O048		High resolu	ition measure (ind	sl.)	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
0050		Double pre	ssure branch		1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
0033		Auto zero p	primary pressure	circuit	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
O036		Positive an	d negative test		1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
0037		Pre-filling (	option)		1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
		(Válido ape	nas p/ pressões	positivas)	0,00			0,000						
O041		Analog out	put referred to the	e leak rate	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
O044		Ethernet R.	J45 plug for TCP-	IP (option)	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
O049		Volume me	asurement [capa	cimeter] (optio	1,00			1,000	UN	15 a 20 dias	úteis			
Total														
SWIFT: BCOM Condições: -Prazo de entre -Portes: Não in Observac	a Taxa 0,00 23,00 PTPL - IBAN ega válido sa cluídos ções:	Impos	ōes de stock	Emi	tido por p	rograma	certificad	o nº 2527/A	[]	Total Mer Despesas Total Iva Total em	rcador s EU	ria R		
Este documente	o não serve c	de factura	ocumento do	transporto	nos tor	mos da	Decret	Ni o-Lein °	aturez	a: Orçamento	,			

NES - Núcleo Empresarial de Serzedo - Rua Senhora Mestra, nº 35 - 4410-511 SERZEDO VNG

Telefone: (+351) 227 536 820 - Fax: (+351) 227 620 335

www.europneumaq.com europneumaq@europneumaq.pt

Página 1 de 1







Criatividade e Inovação em Aplicações Industricis Europneumaq - Equipamentos Pneumáticos e Hidráulicos, Lda. Sociedade por Quotas - Capital Social 170.000€ Contribuinte nº 504 699 563 - C.R.C. Vila Nova de Gaia

Grohe Portugal, Lda

#### Proposta

Proposta Driginal					Apa 3850	rtado 16 0-184	67	A	LBERGAR	RIA-A-V	VELHA		
Número	Data	V/ Referêr	icia Validado	e Propos	sta	Cond. I	Pagamen	to	Cliente		Fax	Cor	tribuinte
405	23/01/20	18	60	) dias		60 D	ias		001373	234	529 915	503	3611905
Art	igo	Desc	rição	Qtd.	Comp	Larg	Qt. Tot	Un	Prazo En	trega	Preço		Valor
M2710		Micro flow digital calit	prator 0-30 cc/min	1,00			1,000	UN	15 a 20 dia	s úteis			
		(w/ plastic case & pov	ver supply)	0,00			0,000						
PORTES DE E	NVIO	PORTES DE ENVIO		1.00			1 000						
Total													
SWIFT: BCOM	ia Taxa 0,00 23,00 PTPL - IBAN	Imposto							Total Me Despesa Total Iva Total em	rcado s EU	ria IR		
-Prazo de entr -Portes: Não in Observa	ega válido sa ncluídos ções:	lvo alterações de sto	ock En	nitido por p	rograma	certificad	o nº 2527/A	۲ - Sa	ge				
Este document	o não serve o	le factura					N	aturez	a: Orcament	0			
Este docum	ento não c	onstitui document	to de transporte	. nos ter	mos do	Decret	o-Lein °	47/2	2003				

NES - Núcleo Empresarial de Serzedo - Rua Senhora Mestra, nº 35 - 4410- 511 SERZEDO VNG Telefone: (+351) 227 536 820 - Fax: (+351) 227 620 335

www.europneumaq.com

Página 1 de 1

europneumaq@europneumaq.pt



### HAND-PUMPS FOR PRESSURE GENERATION

SUITABLE FOR USE WITH DIGITAL KELLER-MANOMETERS

- Pressure generation: from vacuum (negative pressure) up to 700 bar
- Connection for reference pressure meter
- (pump is supplied without reference pressure meter)

#### Hand-pump K/P Pressure generation: -0,85...25 bar Medium: Air

Negative pressures/vacuums and pressures of up to 25 bar (max. 40 bar) can be generated with this pneumatic hand-pump. Thanks to the fine adjustment valve (which is integrated in the pump) and the relief valve, a calibration pressure can be set accurately and quickly. This hand-pump is therefore highly suitable for testing manometers and pressure transmitters. The pump is supplied without the carrying case, which is available as an option. Weight:  $\approx$  1,1 kg Dimensions: 240 mm x 170 mm x 50 mm

# Hand-pump HTP1 Pressure generation: 0...700 bar Medium: Oil or Water Pressures of up to 700 bar can be generated with this hydraulic hand-pump. Hydraulic oil or distilled water can be used as pressure medium (the pump is supplied without fluid). The reservoir has a capacity of approx. 1 dl (100 ccm), thus allowing the pump to be used with larger dead volumes. The hand-pump with its integrated fine adjustment and relief valve is highly suitable for testing manometers and pressure transmitters. The pump is supplied complete with accessories (hose, adaptor, etc.) in a stable carrying case.

Weight: ≈ 1,7 kg Dimensions: 255 mm x 176 mm x 70 mm

#### **Reference devices**

The reference device for accurate measurement of the actual pressure is screwed directly onto the hand-pump and is available as an option. The matching reference devices for the pumps are listed below. Please note the pressure range required for the pump: K/P hand-pump = -1...30 bar HTP1 hand-pump = 0...700 bar

#### **Carrying Case**

Solid carrying case with interior foam cutout to fit one pump with manometer attached. Additional compartments for tools, adapters etc. are provided.

 For pump K/P:
 Weight: ≈ 900 g
 Dimensions: 400 mm x 365 mm x 110 mm (optional)

 For pump HTP1:
 Weight: ≈ 1,1 kg
 Dimensions: 370 mm x 330 mm x 130 mm (inclusive)

K/P HTP1



Hand-pump K/P (pneumatic)



Hand-pump HTP1 (hydraulic)





<sup>·</sup> Simple, portable pressure generation

Model	0-30cc	0-200cc
Dp / flow accuracy	0,5% RDG+0,07%FS	0,5% RDG+0,1%FS
Dp / flow measurement range	0-30cc/min	0-200cc/min
Dp / flow resolution	0,01cc/min	0,1cc/min
Filling pressure accuracy	-	-
Filling pressure measurement range	-	-
Filling pressure resolution	-	-
Leak measurement accuracy in cc/'	-	-
Leak measurement range in cc/	-	-
Leak measurement resolution in cc/	-	-
Volume measurement accuracy in cc/	-	-
Volume measurement range in cc/	-	-
Volume measurement resolution in cc/	-	-
Unit of measurement	cc/min, cc/h, °C	
Dimensions	180X80X35 mm	
Weight	0,7 kg	
Display dimensions	128x64 pixel	
Working temperature range	5-40 °C	
Port RS232	-	
Port RS485	-	
"Master" USB port	-	
"Slave" USB port	Yes	
Ethernet port	-	
I/O signals	-	
Auxiliary I/O signals (optional)	-	
Number of programs	-	
Test archive memory	-	
Lock with password	-	
Program name	-	
Reference normatives	EN 61010-1, EN61326-1 EN61000-3-2 / EN61000 / EN61000-3-3/A1, EN6' 2/A1, EN61000-4-3 / EN EN61000-4-3/A2, EN610 EN61000-4-11, EN1779	/ EN61326/A1, -3-2/A14, EN61000-3-3 1000-4-2 / EN61000-4- 61000-4-3/A1 / 100-4-4, EN61000-4-5,

Tabela A.5: Calibrator technical data



Stream	Corpos	SKU	SKU.Descripton		Test Conditions	Test Condicions Description	Volumes effect	Test	Lint volut +	Deta#(#s)/Deta().)	Leak Rate 4Test
					Castrideo Oracont	seaktest pressure on booth inlets, cartridge is open,			314		5.00
					Canoning® Opened	the mouseur outlet is closed	-0,1	0	*10		435
	16520040	33281002	Eurosmart 2015 OHM sink low spout (Corpo 16520040)	Tubo 406099040-DN6 L450	Cattridge Closed	the mouseur outlet is open to the amblent pressure	70,0	1	80	Cit.	2,78
			(,		Crossflow Test	Leakest pressure or one inlet (crostflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is	a.,s		**	80	2,24
						open to the ambent preasure					
					Cartridge Opened	Leaktest pressure on booth inlets, cartildge is open, the mouseur outlet is closed	300,4	1,5	150	500	6,02
	405908038 & 405909038	33202002	Eurosmart 2015 OHM sink high spout (Corpo 405908038 & 405909038)	DN6 L450	Cartridge Closed	Lealiset precure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	8.8	1	**	80	2,97
					Crossflow Test	Leaktest pressure on one inlet (prooflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	49,4		**	80	2,37
					Cartrider Opened	Leaktert pressure on booth inlets, cartridge is open,	101.9	15	110	508,0	611
					Catridge Closed	the insuseur outlet is closed Leaktest pressure on booth inlets, carryidge is closed, the measure outline is one to the arthletet measure	89,3	1	80	82,0	4,29
	407876031	30317000	2015 OHM sink low sp.ex.spray	Tubo 406104040 - DN6 L450	for the log	Leaktest precure on one inlet (craceflow), the other inlet is open					
					Children Int.	open to the ambient pressure			~	84,0	
					Cartridge Opened	Leakted pressure on booth inlest, cartildge is open, the mauseur outlet is closed	128,9	1,5	150	200,0	7,76
	406778240	31368000	BauLoop OHM sink swivel spout (Corpo 406778240)	Tubo 406363040-DN6 L460	Cattridge Closed	Leaktest precure on booth inlets, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	188,1	1	150	192,0	9,28
					Crossflow Test	Leakest precure or one inlet (croatfow), the other inlet is open to the ambient precure, cartridge is closed, the mouseur outlet is	56,7		**	80,0	2,72
					denotes descent	Leaktest pressure on booth inlets, cartridge is open,				198.0	
Kishes					Carologe Opened	the mouseur outlet is closed		~			
	408240040	31484000	Get monoc. cozinha bi	ca alta chuv.ext.	Cartridge Closed	Leaded procure on booth write, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	86,3	1,5	80	53,3	2,76
					Crossflow Test	Leaktest pressure on one inlet (prooflow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	67,4	1,5	80	843	1,52
						tanitar manus on both isky curities is one					
					Cartridge Opened	the nouseur outlet is closed	141,1	1,5	150	500	8,47
	406778240	31555000	Start Flow monoc. co	zinha C-bica EU	Cartridge Closed	Lealnest pressure an boath intex, cantridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	116,4	1	150	150	10,29
						Leaktest pressure on one inlet (crossflow) , the other inlet is usen					
					Cassofiuw Test	to the ambient precoure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	66,1	1	**	ai	2,17
					Cartridge Opened	seaktest pressure on booth inlets, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	187,2	1,5	160	200,0	11,23
						Lealant assource of booth inter-mention index-of					
	403236031	75141826	divia VIGOUR mor	noc. cozinha	Caltridge Closed	The mouseur outlet is open to the ambient pressure	77,2	1,5	*0	51,8	2,47
					Crossflow Test	Leakest precure on one inlet (prooflow), the other inlet is open to the ambient precure, catchings is closed, the mouseer outlet is open to the ambient precure	66,5	1,5	*	54,8	1,49
					Cartridge Opened	beakted precure on booth twind, cartridge is open, the mouseur outlet is closed	186,0	1,5	150	500,0	11,16
	65795231	23563000	BauEdge monoc.	cozinha F	Cattridge Closed	Leaktest pressure on boath inlets, cantridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient pressure	79,8	1	80	80,0	2,02
						Lealerst anyours on one iniet issueflowi , the other iniet is gave		-			
					Crossflow Test	to the ambient precure, cartridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient precure	6,7	1	**	80,0	2,24
					Cartridge Closed	Leakterz presure on tooth inlets, cartridge is closed Leakterz presure on tooth inlets,	68,0	1,5	80	63,0	2,18
					Cartridge Opened	In the position to movier, the movier is open to ambiente precisient to movier, the work shower is closed precisient, the walk shower is closed Lexistrest precisient positi viets, catridge is open aquadrimmer is	100,0	1,5	150	508,0	6,00
	408392040	406862040	Chuy, OHM Euphor	ria montado	Cartridge Opened	Instanced and clockwise, the Wall Shower outlet is open to ambient pressure the diverter is in home position to mouser, the mouseur outlet is closed	120,0	1,5	150	200,0	7,20
					Cartridge Opened	Leaktert pressure on booth inlets, cartridge is open, aquadimmer is rotanted anti-clockwise, the Wall Shower outlet is open to ambient pressure the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is	91,0	1,5	150	208,0	5,45
						closed, the inducer is open to the ambient precoure Leaktest pressure on one inist (crootflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cantrolge is closed, aquadimmer is					
					CROOTEN Test	rotated and clockwise,the Wall Shower outlet is open to ambient pressure Lealest pressure on booth inlets, the carstidge is closed, the	20,0	1.5	*0		0,04
					Catridge Closed	dweter is in home position to mouser, the mouser is open to ambienta precure Leaktest pressure on one init (croodflow), the ather init's is open	111,1	1,5	80	10	2,55
	400065038	32836000	Eurosmart Cosmopolitan n	ton.banh.Monotrou	Croodlaw Test	to the ambient pressure, the cathidge is closed, the diverter is in fome position to mouse; the mouser is open to ambiente pressure Leaktest pressure on booth inlets, the cartidge is open, the	61,5	1,5	*0	543	2,03
					Cartridge Opened	dwetter is in home position to mouseur, the mouseur outliet is closed sealand pressure on booth inlets, the cartridge is open, the	368,2	1,5	150	500,0	15,79
					Cartinge Opened	diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed Lealerst precure on both initiat, the cartridge is closed, the diverter is call to shower outlet, the shower outlet is come to the	360,5	1.5	110	53.0	579
					Crossflaw Test	ambient pressure Leaktest pressure an one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient pressure, the cartridge is closed, the shower outlist	12,0	1,5	80	53,3	1,02
	408412040	33624001	Essence New OHI	M bath exp	Cartridge Opened	is open to the ansteint precure leadest precure on booth inlets, the cartridge is open, shower outlet is closed, mouseur is open to the ambient precure	239,3	1,5	150	508,0	14,36
					Cartridge Opened	Leaktest pressure as booth inlets, the cartridge is open, mauseur	266,1	1,5	110	202,0	15,96
						Leaster presser on booth plan the rundes is are		-			
					Cartridge Opened	dverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is dised	127,4	1,5	110	508,0	7,64
	406176040	32901001	Feenne New me-	lav. Il-bira e lise	Castridge Closed	Lealerst precure as booth inists, cartridge is closed, the mouseur outliet is open to the ambient precure	80,7	1,5	80	51,3	2,90
	4001/5040	52901001	Essence New mon bacia	nav. J-bica cittid		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		-			
					Crossflow Test	Leaktest precure on one inlet (crossflow), the other inlet is open to the ambient precure, catridge is closed, the mouseur outlet is open to the ambient presure	94,2	1,5	80	54,8	1,72
Bath					Cartridge Opened	unabled pressure on booth inlers, carbidge is open, the mouseur outlet is closed	388,6	1,5	160	200,0	8,97
					Castridge Closed	Leaktert procure on booth inlets, cartridge is closed,	94,5	1,5	**	51.1	2,02
	400568140	32830000	Eurosmart Cosmopolita	n mon. lav. b.alta		we make a valiet is open to the ambient pressare					
					CrossFlaw Test	Leaktest pressure on one inlet (prooffow), the other inlet is open to the ambient pressure, cartridge is closed, the mouseur outlet is	54,0	1,5	80	54,8	1,72
						open to the ambient pressure					
					Cartridge Opened	Lealerst pressure on booth inlets, cattridge is open, the shower outlet is closed	201,6	1,5	110	500,0	12,10
	408410040	33636001	Fotomro Nov- Outre	shower exp	Castridge Closed	Lealtest precure as booth inlets, cartridge is closed, the shower	112,6	1.5	110	108,0	6.76
			Case of the other			Leakbest precure on one inlet (procediew), the other inlet is used					
					CrossFlow Test	to the ambient pressure, cartridge is closed, the shower outliet is open to the ambient pressure	81,0	1,5	*	sija	0,99
					Cattridge Closed	Lealest pressure or booth inies; the carstidge is closed, the diverseric in home position to mouser, the mouser is open to ambiente pressure	112,8	1,5	80	53,3	2,61
					Crossflow Test	Leaktest pressure on one kiet (crooffore), the other kielt is open to the ambient pressure, the castridae is closed, the diversar is in	84.5	15	80	514	206
	408426038	33412002	Eurosmart 2015 monoc.	banh. Monotrou F		tome position to mouse, the mouser is open to ambiente presure		F			
					Cartridge Opened	diverter is in home position to mouseur, the mouseur outlet is dised	227,7	1,5	110	508,0	13,66
					Cartridge Opened	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is pull to shower outlet, the shower outlet is closed	250,3	1,5	110	508,0	12,62
					-	Lexitest precure of booth lists, the carsidge is closed, the descent is in home position to		1			
					Caloridge Closed	we not a not the second	164.1	1		820	7,67
		l			Crossflaw Test	Leaktest pressure on one inist (stoodflow), the other inist is open to the ambient pressure, the castridge is closed, the diverter is in fome position to mouse; the mouser is open to ambiente pressure	8,3	1	80	82,0	4.28
	64132138	32269000	FEEL Monoc. banh	eira / duche	Cartridge Opened	Leaktest pressure on booth inlets, the cartridge is open, the diverter is in home position to mouseur, the mouseur catlet is	211,5	1,5	150	202,0	12,81
						dused		-			
					Cartridge Opened	unsweld pressure on boots when, the carsidge is open, the dwerter is guil to shower outlint, the shower outlint is closed	188,0	1,5	110	500,0	11,88



Tabela A.6: Torneiras avaliadas no processo digital





1	1	`
(	b	
		1







(d)



(e) Medições de volumes de várias torneiras

Outros	SKU			
1	34,594,000	GRT 800 THM shower	Carlo Carlo	
2	30,300,000	Minta monoc. cozinha		
3	31,484,000	Get monoc. cozinha bica alta		
4	409,244,045	GROHE RED II Duo	(B)	
5	409,247,045	GROHE Red II Mono	Car	
6	34,707,000	GRT 800 term duche 40mm	200 Ta	

Tabela A.7: Torneiras com mais índice de reclamações pelos clientes

Apêndice B

Tabelas de conversões de unidades relevantes no universo de medição de fugas



## UNIT CONVERSION TABLES

## LEAK RATE UNITS

1 $\downarrow$ = $\rightarrow$	mbar · l/s	std.cc/hour	std.cc/min	std.cc/s	Torr · I/s	Pa · I/s
mbar · I/s	1	3554	59.234	0.987	0.75	100
std.cc/hour	2.81E-04	1	0.016	2.78E-04	2.11E-04	2.81E-02
std.cc/min	1.69E-02	60	1	0.016	1.27E-02	1.69E+00
std.cc/s	1.013	3600	60	1	0.76	101
Torr · I/s	1.33	4727	7.90E+01	1.32	1	133
Pa · I/s	1.00E-02	35.54	5.93E-01	9.87E-03	7.50E-03	1

## VOLUME UNITS

1 $\downarrow$ = $\rightarrow$	litre	сс	mm <sup>3</sup>	inch <sup>3</sup>	US Gallon
litre	1	1.00E+03	1.00E+06	6.10E+01	2.64E-01
сс	1.00E-03	1	1.00E+03	6.10E-02	2.64E-04
mm <sup>3</sup>	1.00E-06	1.00E-03	1	6.10E-05	2.60E-07
inch <sup>3</sup>	1.64E-02	1.64E+01	1.64E+04	1	4.33E-03
US Gallon	3.79E+00	3.79E+03	3.85E+06	2.31E+02	1

 $1inch^{3} = 1cu-in$ ;  $1ml = 1cc = 1cm^{3}$ 

## **PRESSURE UNITS**

1 ↓ = →	MPa	KPa	Pa	mPa	bar	mbar	atm	psi	Torr	mmTorr
MPa	1	1.00E+03	1.00E+06	1.00E+09	10	1.00E+04	9.87E+00	1.45E+02	7.50E+03	7.50E+06
KPa	1.00E-03	1	1.00E+03	1.00E+06	1.00E-02	10	9.87E-03	1.45E-01	7.500617	7.50E+03
Pa	1.00E-06	1.00E-03	1	1.00E+03	1.00E-05	1.00E-02	9.87E-06	1.45E-04	7.50E-03	7.500617
mPa	1.00E-09	1.00E-06	1.00E-03	1	1.00E-08	1.00E-05	9.87E-09	1.45E-07	7.50E-06	7.50E-03
bar	1.00E-01	1.00E+02	1.00E+05	1.00E+08	1	1.00E+03	9.87E-01	14.50377	7.50E+02	7.50E+05
mbar	1.00E-04	1.00E-01	1.00E+02	1.00E+05	1.00E-03	1	9.87E-04	1.45E-02	7.50E-01	7.50E+02
atm	1.01E-01	1.01E+02	1.01E+05	1.01E+08	1.01325	1.01E+03	1	14.69595	7.60E+02	7.60E+05
psi	6.89E-03	6.8947591	6.89E+03	6.89E+06	6.89E-02	6.89E+01	6.80E-02	1	5.17E+01	5.17E+04
Torr	1.33E-04	1.33E-01	1.33E+02	1.33E+05	1.33E-03	1.33E+00	1.32E-03	1.93E-02	1	1.00E+03
mmTorr	1.33E-07	1.33E-04	1.33E-01	1.33E+02	1.33E-06	1.33E-03	1.32E-06	1.93E-05	1.00E-03	1

## **Equivalent Leakage Rates**

Std cc/sec*	mbar-l/sec	Torr Liters/sec	Time for one cc to Leak	Time for one bubble** to leak
10-1	1.01 x 10 <sup>-1</sup>	7.6 x 10 <sup>-2</sup>	10 seconds	0.25 seconds
10-2	1.01 x 10 <sup>-2</sup>	7.6 x 10 <sup>-3</sup>	100 seconds	2.5 seconds
10-3	1.01 x 10 <sup>-3</sup>	7.6 x 10 <sup>-4</sup>	16.7 minutes	25 seconds
10-4	1.01 x 10 <sup>-4</sup>	7.6 x 10 <sup>-5</sup>	2.8 hours	4 minutes
10-5	1.01 x 10 <sup>-5</sup>	7.6 x 10⁻ <sup>6</sup>	28 hours	40 minutes
10-6	1.01 x 10 <sup>-6</sup>	7.6 x 10 <sup>-7</sup>	11.5 days	7 hours
10-7	1.01 x 10 <sup>-7</sup>	7.6 x 10 <sup>-8</sup>	3.8 months	3 days
10-8	1.01 x 10 <sup>-8</sup>	7.6 x 10 <sup>-9</sup>	3.2 years	1 month
10 <sup>-9</sup>	1.01 x 10 <sup>-9</sup>	7.6 x 10 <sup>-10</sup>	32 years	9 months
10-10	1.01 x 10 <sup>-10</sup>	7.6 x 10 <sup>-11</sup>	320 years	8 years
10-11	1.01 x 10 <sup>-11</sup>	7.6 x 10 <sup>-12</sup>	3200 years	80 years

 \* Std cc/sec = One cubic centimeter of gas flow per second at 14.7 psi of pressure and a temperature of 77°F

\*\* Bubble diameter is 3mm

Leak Legend	Approximate Leak Rates per meter of circumference	Actual leak rate in service will depend on the following:
Ultra-Helium	$\leq$ 1 x 10 <sup>-11</sup> std.cc/sec He	Seal Load: Wall Thickness or Spring Load
Helium	$\leq$ 1 x 10 <sup>-9</sup> std.cc/sec He	Surface Finish: Seal and Cavity
Bubble	$\leq$ 1 x 10 <sup>-4</sup> std.cc/sec He	Surface Treatment: Coating/Plating/Jacket Material
Low Bubble	≤ 25 cc/sec @ 50 psig Nitrogen per inch of diameter	

## Conversion of helium leakage rate to leakage rates of other gases

To Convert to Leakage	Multiply Helium Leakage Rate by:			
Rate of:	Laminar Flow	Molecular Flow		
Argon	0.88	0.316		
Air	1.08	0.374		
Nitrogen	1.12	0.374		
Water vapor	2.09	0.469		
Hydrogen	2.23	1.410		