

PEDRO MIGUEL DOS SANTOS RODRIGUES

**ESTUDO DAS PERDAS APARENTES POR ERROS DE MEDIÇÃO NA REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE BEJA**



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2021

PEDRO MIGUEL DOS SANTOS RODRIGUES

**ESTUDO DAS PERDAS APARENTES POR ERROS DE MEDIÇÃO NA REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE BEJA**

Mestrado em Ciclo Urbano da Água

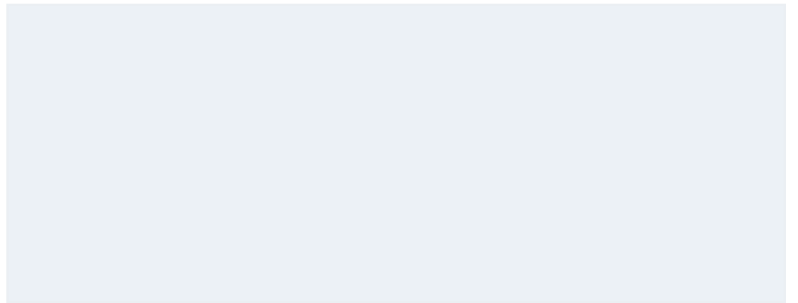
Trabalho efetuado sob orientação de:  
Prof. Doutor Jorge Manuel G.P. Isidoro



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2021

"Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída."



“Copyright” em nome de Pedro Miguel dos Santos Rodrigues, da Universidade do Algarve

“A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.”

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação só foi possível com o apoio de várias pessoas, a começar por agradecer à minha família, nomeadamente aos meus pais por todo o amor, carinho e apoio que me prestaram não só neste projeto como em todo o meu percurso académico.

À administração da Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja, na pessoa do Eng.º Rui Marreiros pela oportunidade que me concedeu na realização deste Mestrado.

Ao Professor Doutor Jorge Manuel G.P. Isidoro, pela sabedoria transmitida, conselhos úteis e disponibilidade que sempre demonstrou.

Ao Engenheiro José Colarejo, pelos ensinamentos transmitidos, pelo espírito crítico ao longo da minha dissertação, pelos conselhos e pela disponibilidade demonstrada ao longo deste percurso.

À administração dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada pela disponibilidade na cedência das suas infraestruturas para a realização dos ensaios de medição aos contadores.

Ao Eng.º Jorge Marques dos SMAS de Almada por todo o apoio e esclarecimento de dúvidas, pela sua disponibilidade e simpatia constante bem como o seu espírito crítico.

Ao meu amigo João Espírito Santo por todo o seu apoio e insistência para a realização deste projeto.

À minha esposa e à minha filha por toda a sua confiança, compreensão e apoio incondicional.

## RESUMO

Todas as redes de distribuição e abastecimento de água apresentam perdas de água (consumo não faturado), sendo essas perdas uma das principais fontes de ineficiência das Entidades Gestoras (EG). A eficiência no controlo e redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água, têm um impacto significativo na sustentabilidade das EG não se refletindo somente a nível financeiro, mas também a nível ambiental e social principalmente na atualidade onde as populações estão despertas para a problemática do *stress* hídrico e da escassez de água.

As perdas de água englobam as perdas reais e as perdas aparentes, este trabalho foca-se essencialmente na quantificação das perdas aparentes, através da realização de ensaios de medição a uma amostra de contadores que pertencem ao sistema de distribuição de água da Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja, EM (EMAS de Beja). O erro de medição dos contadores de água é uma das principais componentes das perdas aparentes que, por conseguinte, representam uma percentagem significativa da água não faturada (ANF) nas EG.

Os resultados mostram que o erro de medição de um contador aumenta com a idade do mesmo, pois este vai perdendo precisão ao longo do tempo, sendo que a partir dos 12 anos de idade os erros de medição aumentam de forma substancial.

Com base na quantificação das perdas aparentes serão ainda realizados dois estudos económicos de forma a contabilizar o valor em euros das perdas aparentes, mais concretamente as perdas comerciais associadas aos erros de medição dos contadores quer na zona de monitorização e controlo (ZMC) em estudo quer no parque de contadores da EMAS de Beja.

Será ainda abordado o tema da telemetria, que apesar de estar a dar os primeiros passos no sistema de abastecimento da EG em estudo, esta tecnologia já apresenta enormes valências no que concerne ao combate da água não faturada.

Palavras-chave: perdas aparentes, água não faturada, consumos não autorizados, balanço hídrico, nível económico de perdas, contadores, erros de medição.

## **ABSTRACT**

All water distribution and supply networks have water losses (unbilled consumption), which is one of the main sources of inefficiency of the Water Utilities (WU) companies. The efficiency in the control and reduction of losses in the water supply systems, have a significant impact on the sustainability of the WU not only reflected at the financial level, but also at the environmental and social levels, mainly nowadays where the population is awake to the problem of the water stress and scarcity.

Water losses include real losses and apparent losses. This work focuses essentially on the quantification of apparent losses, through the performance of accuracy tests on a sample of meters from the water distribution system of the Municipal Water Company and Sanitation of Beja, EM.

Based on the quantification of apparent losses, two economic studies will also be carried out to account for the value (in euros) of apparent losses, more specifically the commercial losses associated with the errors in the meters of a District Metered Area (DMA) under study and globally in the EMAS meter park of Beja. The metering errors of water meters is one of the main components of apparent losses which, therefore, represent a significant percentage of unbilled water in the WU.

The results show that the metering errors of a water meter increase with its age, as it loses accuracy over time, and that, from the age of 12 years onwards, metering errors increase substantially.

The issue of telemetry will also be addressed, despite taking the first steps in the WU supply system under study, this technology has already showed enormous advantages in terms of fighting unbilled water.

Keywords: apparent losses, unbilled water, unauthorized consumption, water balance, economic level of losses, meters, measurement errors.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. Âmbito</b> .....	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	2
<b>1.3. Estrutura da dissertação</b> .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
<b>2.1. Perdas de água</b> .....	6
2.1.1. Perdas reais.....	6
2.1.2. Perdas aparentes.....	7
2.1.2.1. Consumos não autorizados.....	8
2.1.2.2. Erros de medição.....	9
2.1.2.3. Erros humanos.....	13
2.1.2.4. Erros informáticos.....	14
<b>2.2. Implicações das perdas de água</b> .....	14
2.2.1. Implicações económico-financeiras.....	14
2.2.2. Implicações ambientais.....	14
2.2.3. Implicações na saúde pública.....	15
2.2.4. Implicações sociais.....	15
2.2.5. Outras implicações.....	15
<b>2.3. Técnicas e metodologias para o controlo de perdas aparentes</b> .....	15
2.3.1. Balanço hídrico.....	16
2.3.1.1. Componentes do balanço hídrico.....	17
2.3.1.2. Cálculo do balanço hídrico.....	18
2.3.2. Consumos não autorizados.....	20
2.3.3. Erros de medição.....	21
2.3.4. Erros humanos.....	25
2.3.5. Erros informáticos.....	25
<b>2.4. Indicadores</b> .....	26
2.4.1. Nível económico das perdas (NEP).....	26
2.4.2. Indicadores de desempenho.....	26
<b>2.5. Contadores</b> .....	28
2.5.1. Tipos de contadores.....	29
2.5.1.1. Volumétricos.....	30

2.5.1.2.	Contadores de velocidade (velocimétricos) .....	31
	Contadores do tipo Monojacto .....	31
	Contadores do tipo Multijacto .....	32
	Contadores do tipo Woltmann.....	34
	Contadores conjugados .....	35
2.5.1.3.	Contadores estáticos ou caudalímetros .....	36
	Contadores eletromagnéticos .....	37
	Contadores ultrassónicos.....	38
<b>2.6.</b>	<b>Classe metrológica .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.</b>	<b>Legislação/normalização .....</b>	<b>43</b>
2.7.1.	Legislação na medição de consumos.....	43
2.7.2.	Legislação no combate aos ilícitos .....	44
<b>3.</b>	<b>CASO DE ESTUDO – EMAS DE BEJA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.</b>	<b>Apresentação da EMAS de Beja, EM .....</b>	<b>45</b>
3.1.1.	A Criação dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS).....	45
3.1.2.	A Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Beja (EMAS).....	45
3.1.2.1.	Estrutura organizacional .....	45
	Macroestrutura .....	45
	Microestrutura .....	46
3.1.2.2.	A rede de distribuição de água do concelho de Beja .....	47
	Balanco hídrico da EMAS de Beja .....	50
	Parque de contadores da EMAS de Beja.....	53
3.1.2.3.	A rede de distribuição de água na cidade de Beja .....	54
<b>4.</b>	<b>ENSAIOS LABORATORIAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.</b>	<b>Materiais e procedimentos de ensaio.....</b>	<b>59</b>
4.1.1.	Contadores a ensaiar .....	59
4.1.2.	Laboratório de ensaios.....	61
4.1.2.1.	Descrição do laboratório .....	63
4.1.2.2.	Procedimentos de ensaio .....	66
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1.</b>	<b>Análise com base na idade cronológica dos contadores .....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.</b>	<b>Análise com base no volume acumulado nos contadores (idade volumétrica).....</b>	<b>76</b>
<b>5.3.</b>	<b>Perda comercial associada ao erro de medição dos contadores .....</b>	<b>81</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Fuga de água numa conduta.....	7
Figura 2. Principais componentes das perdas aparentes .....	7
Figura 3. Furto de água através de ligação direta.....	8
Figura 4. a) Ligação por “bypass” ao ramal; b) Ligação por derivação de ramal; c) Ligação direta (Ledo, 1999).....	8
Figura 5. Utilização de um arame para evitar a contagem da água.....	10
Figura 6. Entupimento causado por partículas de dimensão considerável em suspensão.....	10
Figura 7. Acumulação de calcário no interior de um contador (Arregui, et al., 2005) .....	11
Figura 8. Influência de um reservatório de armazenamento nos padrões de consumo de água: a) Padrão típico de consumo causado pelo reabastecimento dum reservatório durante uma hora, b) Reservatórios em causa (Arregui et al., 2005).....	12
Figura 9. Esquema de instalação de um contador (Malheiro, 2011).....	13
Figura 10. Abordagens Top-Down e Bottom-Up (EPAL, 2017).....	19
Figura 11. Erros em contadores por tempo de funcionamento (Taborda, 1998) .....	21
Figura 12. Curva de erros (linha vermelha) e limites do erro máximo admissível (linha azul) (curva característica de um contador volumétrico do fabricante Itron modelo Aquadis+).....	23
Figura 13. UFR- Unmeasured Flow Reducer (Yaniv, n.d.) .....	24
Figura 14. Funcionamento de UFR (adaptado de Yaniv, n.d.) .....	24
Figura 15. Nível económico de perdas (Alegre, 2005) .....	26
Figura 16. Modelos residenciais de contadores volumétricos (DN 15 ou DN 20) .....	30
Figura 17. a) Princípio físico (volumétrico); b) Cinemática da câmara volumétrica; c) Funcionamento da câmara volumétrica (Colarejo, 2019) .....	31
Figura 18. Contadores de velocidade mecânico (monojecto); a) contadores de DN 15 e 20mm; b) Princípio físico (velocimétrico) de um contador monojecto (Colarejo, 2019) .....	32
Figura 19. Contador residencial multijacto .....	33
Figura 20. Princípio físico do contador Multijacto (Colarejo, 2019).....	33
Figura 21. Esquema do regulador de bypass (Colarejo, 2019) .....	33
Figura 22. Contador Woltmann.....	34
Figura 23. Turbina de pás helicoidais (Woltmann).....	34
Figura 24. Esquema de funcionamento de um contador Woltmann com rotor horizontal e vertical (Colarejo, 2019) .....	35

Figura 25. Contador conjugado .....	35
Figura 26. Contador eletromagnético e ultrassónico.....	37
Figura 27. Princípio de funcionamento de um caudalímetros eletromagnético (Omega).....	37
Figura 28. Contador ultrassónicos por medição do tempo de trânsito ( <a href="http://www.hidraconex.com.br/hidrometro-ultrassonico-octave.html">http://www.hidraconex.com.br/hidrometro-ultrassonico-octave.html</a> , 2020) .....	38
Figura 29. Princípio da medição do tempo de trânsito; T <sub>1</sub> -transdutor ultrassónico emissor/recetor; T <sub>2</sub> -transdutor ultrassónico recetor/emissor (adaptado de Coelho, 2017) .....	39
Figura 30. Princípio do efeito Doppler (adaptado de Coelho, 2017) .....	39
Figura 31. Evolução do logotipo da EMAS de Beja ( <a href="http://www.emas-beja.pt/empresa">http://www.emas-beja.pt/empresa</a> ) .....	45
Figura 32. Estrutura orgânica da EMAS de Beja, EM ( <a href="http://www.emas-beja.pt/empresa">http://www.emas-beja.pt/empresa</a> ) ...	47
Figura 33. Freguesias do concelho de Beja ( <a href="http://www.pracadarepublicaembeja.net/author/nikonman/page/57">http://www.pracadarepublicaembeja.net/author/nikonman/page/57</a> ) .....	48
Figura 34. Sistema de abastecimento da Magra (AGDA, SA).....	49
Figura 35. Balanço hídrico da EMAS de Beja no ano 2019 (EMAS, 2020) .....	51
Figura 36. Indicador de qualidade do serviço de abastecimento de água; indicador de sustentabilidade económica (ERSAR, 2019) .....	52
Figura 37. Gráfico da evolução histórica da ANF na EMAS de Beja (EMAS-GCQ, 2020)...	52
Figura 38. Controlo da ANF através das ZMC (EMAS-GRCP,2020).....	52
Figura 39. Dashboard contadores de água (EMAS-GIGGO, 2020) .....	53
Figura 40. Quantificação dos contadores por classe de consumo (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020).....	53
Figura 41. Quantificação dos contadores por DN (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020).....	54
Figura 42. Quantidade de contadores por fabricante (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020) ...	54
Figura 43. Estação elevatória da Pia Quebrada.....	55
Figura 44. a) Reservatório da Conceição, b) Reservatório da Mata, c) Reservatório dos Falcões .....	55
Figura 45. Zonas de abastecimento (EMAS - GIGGO) .....	56
Figura 46. Zonas de medição e controlo (EMAS - GIGGO) .....	57
Figura 47. Contadores da ZMC-ZB5 .....	59
Figura 48. a) Diâmetro dos contadores (mm); b) Idade media dos contadores em função do seu diâmetro (anos) (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020) .....	60
Figura 49. Consumo médio (m <sup>3</sup> /mês/cliente) em função do diâmetro do contador (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020) .....	60
Figura 50. Número de contadores por fabricante (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020).....	61

Figura 51. a) Bancada de ensaio de estanquidade 1; b) Bancada de ensaio de estanquidade 2	62
Figura 52. Bancadas de ensaio para erros de medição de contadores dos SMAS de Almada.	62
Figura 53. a) Bancada de ensaio para os baixos caudais; b) Bancada de ensaio para os caudais médios-altos dos SMAS de Almada.....	63
Figura 54. a) Reservatório elevado com capacidade para 100L; b) Reservatório subterrâneo com capacidade para 500L.....	64
Figura 55. a) Medidor de pressão a montante da linha de ensaio na bancada 2; b) Medidor de pressão a jusante da mesma linha; c) Medidor de temperatura da água .....	64
Figura 56. a) Contador de referência; b) IAC .....	65
Figura 57. a) Electroválvula; b) Volante de ajuste dos contadores na linha de ensaio .....	65
Figura 58. a) RVG de 200l; b) RVG de 20l; c) Escala de controlo de caudais.....	66
Figura 59. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos zero aos cinco anos.....	70
Figura 60. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos seis aos 11 anos .....	71
Figura 61. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos 12 aos 15 anos .....	72
Figura 62. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos 16 aos 20 anos .....	73
Figura 63. Análise aos erros de medição em contadores com idade superior a 21 anos.....	74
Figura 64. Resumo dos erros de medição face à idade cronológica dos contadores.....	75
Figura 65. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos zero aos cinco anos ...	76
Figura 66. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos seis aos 10 anos.....	77
Figura 67. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos 11 aos 15 anos.....	78
Figura 68. Resumo dos erros de medição face à idade volumétrica dos contadores .....	79
Figura 69. Resumo dos erros de medição face à idade volumétrica dos contadores .....	80
Figura 70. Comparação dos consumos no ano de 2019 e 2020 .....	84

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Análise de contadores com base na idade e caudal (adaptado de Criminisi et al., 2009) .....	12
Tabela 2. Balanço hídrico standard (ERSAR) (adaptado de APDA, 2014).....	17
Tabela 3. Verificação periódica de contadores .....	22
Tabela 4. Principais indicadores de desempenho relativos a perdas de água (adaptado de EPAL, 2017).....	27
Tabela 5. Comparação das propriedades dos contadores volumétricos e velocimétricos (Colarejo, 2011) .....	36

Tabela 6. Classes de medição de contadores (ISO 4064-1:1995 ou NP 2468:1997).....	40
Tabela 7. Caudal permanente $Q_3$ (m <sup>3</sup> /h) segundo a NP EN ISO 4064-1:2018 .....	42
Tabela 8. Valores admissíveis para o valor R segundo a NP EN ISO 4064-1:2018.....	42
Tabela 9. Características dos reservatórios (EMAS, 2020) .....	55
Tabela 10. Intervalo dos caudais de ensaio .....	68
Tabela 11. Separação dos contadores por intervalo da idade cronológica.....	69
Tabela 12. Tabela resumo dos erros médios ponderados totais .....	75
Tabela 13. Separação dos contadores por intervalo de idades .....	76
Tabela 14. Tabela resumo dos erros médios ponderados totais .....	80
Tabela 15. Perfis de consumo dos consumidores da ZMC-ZB5.....	81
Tabela 16. Estudo económico para a ZMC-ZB5 com vista a estimar a perda total mensal ....	82
Tabela 17. Dados para a realização do estudo económico ao parque de contadores da EMAS com DN 15 e 20mm .....	83
Tabela 18. Estudo económico ao parque de contadores da EMAS de Beja com vista a estimar a perda total mensal.....	83

### Acrónimos e abreviaturas

AF	Água faturada
ANF	Água não faturada
APDA	Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas
AGDA, SA	Águas Públicas do Alentejo
APRH	Associação Portuguesa de Recursos Hídricos
ALI	<i>Apparent Loss Index</i>
CEE	Comunidade Económica Europeia
CMN	Caudal Mínimo Noturno
DN	Diâmetro nominal
EMAS de Beja	Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja, E.M
EMA	Erro Máximo Admissível
EG	Entidade gestora
EE	Estação elevatória
ETA	Estação de tratamento de água

ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
EMA	Erros máximos admissíveis
EPAL	Empresa Portuguesa de Águas Livres
IWA	<i>International Water Association</i>
IAC	Indicador automático de caudal
Li	Leitura inicial
Lf	Leitura final
NEP	Nível económico de perdas
ONU	Organização da Nações Unidas
RASARP	Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal
RVG	Recipiente de volume graduado
UFR	<i>Unmeasured Flow Reducer</i>
UE	União Europeia
UFR	Unmeasured Flow Reducer
VR	Volume real passado pelo contador
Vi	Volume inicial
ZMC	Zona de monitorização e controlo



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Âmbito

O crescimento exponencial da população humana na Terra, que se estima ainda evoluir dos atuais sete mil milhões para 11 mil milhões de habitantes até ao final do século XXI, conjugado com a concentração populacional nas grandes cidades, serão dois dos fatores que contribuirão para o aumento do *stress* hídrico em diversas áreas do globo, tornando o acesso à água doce cada vez mais crítico. Com efeito, a Organização das Nações Unidas (ONU) estima que no ano 2050 cerca de metade da população mundial possa vir a sofrer com falta de água, pelo que esta temática constitui um tema fundamental no estudo do ciclo urbano da água.

Uma das ferramentas importantes no combate à escassez de água é o balanço hídrico, este é a base para o planeamento à escala macro e micro das tomadas de decisão para a gestão eficiente dos recursos hídricos existentes; o balanço hídrico permite caracterizar e contabilizar a disponibilidade hídrica num determinado local num determinado período.

Todas as redes de distribuição de água apresentam perdas de água de maior ou menor dimensão. Entre estas as tecnicamente designadas por “água não faturada” (ANF), são as mais significativas em sistemas de distribuição em ambientes urbanos. Segundo a Empresa Portuguesa de Águas Livres (EPAL) em 2017, as perdas de água a nível mundial em sistemas de abastecimento de água chegam a atingir valores na ordem dos 50%.

Segundo a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) em 2019 o valor da ANF registado pela generalidade das Entidades Gestoras (EG) do sector de abastecimento de água em Portugal é em média de 29,4% existindo, contudo, entidades com valores bastante superiores a esta. A percentagem de água não faturada nos sistemas em baixa em Portugal Continental é mediana o que se reflete numa qualidade do serviço também mediana.

As perdas de água são a principal fonte de ineficácia das EG de redes de abastecimento. Este fato tem graves implicações quer na eficiência dessas entidades, quer na qualidade do serviço prestado aos seus clientes.

A ANF corresponde a 90% das componentes do balanço hídrico em sistemas de abastecimento de águas, desta forma é fundamental para a realização do balanço hídrico que as EG tenham um conhecimento real e efetivo sobre todas as componentes da ANF nos seus sistemas.

O avanço e o desenvolvimento tecnológico têm permitido uma melhoria na análise e receção da informação sobre o consumo de água, o que tem permitido verificar a existência de variações do padrão de consumo nos consumidores das redes de abastecimento de água (Nguyen *et al.*, 2018).

O erro de medição efetivo dos contadores depende dos fluxos que o cruzam. Ou seja, a diferença entre os volumes registados pelos contadores e os volumes efetivamente consumidos pelos consumidores não pode ser dissociada dos padrões de consumo dos consumidores (Arregui *et al.*, 2015).

Os erros de medição associados aos contadores constituem uma das principais causas da ANF com que as EG se deparam. Neste sentido, não se pode descurar que num elevado número de casos, o mau funcionamento dos contadores leva a erros de medição negativos, prejudicando efetivamente as EG (Monedero *et al.*, 2016).

Neste sentido é importante que as EG disponham de laboratórios que lhes permitam ensaiar os contadores que tem instalados nos sistemas de abastecimento, de forma a ser possível determinar o erro médio do seu parque de contadores e implementar campanhas de substituição dos mesmos.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo desta dissertação prende-se com a identificação e conhecimento das perdas aparentes nas redes públicas de distribuição de água, mais concretamente com o problema dos erros de medição associados aos contadores de água domésticos. Para uma melhor avaliação destes erros de medição, procedeu-se à realização de ensaios laboratoriais com vista a analisar a exatidão da medição de uma amostra de contadores provenientes da rede pública de distribuição de água de Beja.

Utilizar-se-á o caso de estudo da Empresa Municipal de Água e Saneamento de Beja, E.M – (EMAS) como principal objeto de análise, o que irá permitir um enquadramento no contexto do combate à componente de perdas aparentes na ANF.

O desenvolvimento desta dissertação incidirá sobre os seguintes aspetos específicos:

- Determinar o erro e o comportamento dos contadores com base na sua idade “cronológica” (idade de fabrico do contador) após submetê-los a diferentes caudais de teste;
- Determinar o erro e o comportamento dos contadores com base na sua idade “volumétrica” (volume passado no contador) após submetê-los a diferentes caudais de teste;
- Contabilizar a perda comercial associada ao erro de medição dos contadores.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A dissertação é constituída pelos seguintes capítulos.

#### Capítulo 1

Capítulo inicial onde é realizada uma descrição geral do tema a abordar na dissertação, definidos os objetivos e descrita a sua estrutura.

#### Capítulo 2

Este capítulo inclui toda a base teórica pertinente para a realização da dissertação. Detalha-se o uso do balanço hídrico como ferramenta para a caracterização das perdas, define-se o nível económico de perdas e a sua importância para uma gestão equilibrada, apresenta-se os indicadores de desempenho e o nível económico das perdas. Abordam-se os tipos de perdas em sistemas de abastecimento de água, com principal enfoque nas perdas aparentes. Este capítulo aborda também os principais tipos de contadores utilizados em Portugal e os erros de medição associados aos mesmos. De seguida, faz-se uma breve descrição sobre a legislação/normalização existente no âmbito da temática das perdas aparentes.

#### Capítulo 3

Será descrito neste capítulo o caso de estudo da EMAS de Beja. Caracteriza-se a Empresa Municipal de Águas de Beja, responsável pelo sistema público de distribuição de águas e drenagem de águas residuais, sendo também analisado o balanço hídrico desta empresa referente ao ano 2019.

#### Capítulo 4

Será abordado o caso de estudo neste capítulo descreve-se os materiais e métodos de ensaio, bem como a bancada de ensaio onde se realizaram os ensaios dos contadores.

#### Capítulo 5

Neste capítulo serão compilados os resultados dos ensaios e efetuar-se-á a análise dos mesmos.

#### Capítulo 6

Capítulo final onde são apresentadas as conclusões passíveis de serem retiradas do trabalho realizado, efetuando-se considerações sobre possíveis desenvolvimentos futuros a realizar nesta temática.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O volume anual de perdas de água em sistemas públicos de distribuição de água a nível mundial foi estimado em 126 milhares de milhões de metros cúbicos, correspondendo a um custo anual de cerca de 39 milhares de milhões de dólares (Liemberger & Wyatt, 2019). O somatório dos volumes de água perdida (perdas reais e perdas aparentes) com o volume do consumo autorizado não faturado, como por exemplo a água usada para combate a incêndios ou operações de manutenção nas redes, é designado como ANF.

O primeiro passo para reduzir a ANF é desenvolver um entendimento do “panorama geral” do sistema de distribuição de água, que passa pela implementação de um balanço hídrico (também chamado de “auditoria de água” nos Estados Unidos da América). Esse processo ajuda as EG a entender a magnitude, as fontes e o custo da ANF. A *International Water Association (IWA)* desenvolveu uma estrutura e terminologia padrão de balanço hídrico internacional que foi adotada por associações nacionais em diversos países do mundo (Tabela 2) (Farley *et al.*, 2008), sendo que em Portugal a ERSAR também adotou esta terminologia padrão.

Uma vez conhecido o volume de ANF, é necessário decompô-lo em perdas reais e aparentes. No caso das perdas aparentes esta é sempre uma tarefa difícil, pelas razões abaixo expostas.

- *Consumo não autorizado*

É difícil fornecer diretrizes gerais sobre como estimar o consumo não autorizado. Esta é sempre uma tarefa difícil e deve ser feita de maneira transparente.

- *Carência de exatidão através da medição no contador do consumidor e erros de manipulação de dados*

A extensão da carência de exatidão dos medidores do consumo dos clientes da EG, ou seja, sub ou sobre medição, deve ser estabelecida com base em ensaios de uma amostra representativa de medidores. A composição da amostra deve refletir as várias marcas e faixas etárias dos medidores domésticos instalados, sendo preferencialmente constituída por um número suficientemente grande de indivíduos de cada grupo (na ordem da centena, quando possível) de forma a reduzir ao máximo os efeitos dos “*outliers*”, os quais são bastante comuns nos resultados dos ensaios de contadores. Com base nos resultados dos ensaios, os valores médios dos erros de medição dos medidores (em percentagem do consumo medido) serão estabelecidos

para diferentes grupos de utilizadores. Os erros de manipulação de dados por vezes são uma componente muito substancial das perdas aparentes.

## 2.1. Perdas de água

As perdas de água nos sistemas de abastecimento mais comuns resultam da deficiente qualidade ou da degradação das infraestruturas, sendo normalmente designadas por perdas reais. Esta componente das perdas de água, normalmente mais relevante em termos globais, pode ser reduzida através de programas de controlo e combate às fugas e de estratégias adequadas de renovação das redes.

Existe, no entanto, outra vertente que contribui para as perdas de água, à qual se associa normalmente o conceito de perdas “económicas”, “comerciais” ou “aparentes”. Esta componente das perdas decorre de situações de utilização de água não autorizadas frequentemente associadas a zonas onde existe um grande *deficit* de estrutura social, bem como, à existência de políticas inadequadas de medição ou de uma política de gestão de ativos que não considera corretamente as perdas por submedição.

### 2.1.1. Perdas reais

As perdas reais correspondem às perdas físicas de água até ao contador do consumidor quando o sistema está sob pressão. Estas caracterizam-se como o volume anual de perdas que ocorrem através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos (Ervideira, 2014).

O volume anual de perdas através de todos os tipos de fugas, roturas (Figura 1) e extravasamentos de reservatórios depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga. As perdas reais resultam em volumes de perdas de água bastante significativos, o que se traduz numa elevada percentagem de água não faturada, constituindo a sua redução um dos principais objetivos das EG. Durante o ano de 2018, 71,8% da água não faturada em Portugal teve como origem as perdas reais (ERSAR, 2019).

As perdas reais podem assim caracterizar-se em:

- Fugas e extravasamentos em reservatórios;
- Fugas e roturas em ramais domiciliários;
- Fugas e roturas em condutas.



Figura 1. Fuga de água numa conduta

Estas perdas dependem de vários fatores que influenciam este fenómeno:

- Estado das condutas e outros componentes, o seu material e a frequência de fugas e roturas;
- Pressão de serviço média, quando o sistema está sob pressão;
- Densidade e comprimento dos ramais (nos sistemas em baixa);
- Localização do medidor domiciliário no ramal (nos sistemas em baixa);
- Comprimento total de condutas;
- Tipo de solo e condições do terreno, fato especialmente relevante sobretudo na forma como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas.

#### 2.1.2. Perdas aparentes

As perdas aparentes correspondem aos volumes não contabilizados e não atribuíveis a perdas reais, sendo também vulgarmente designadas por perdas económicas ou comerciais (Figura 2).

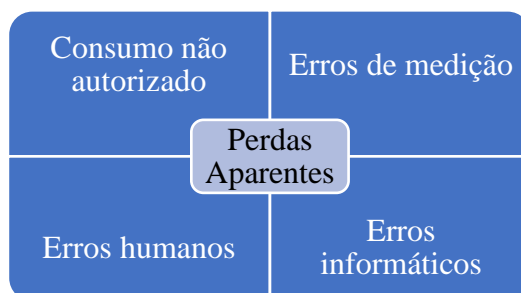


Figura 2. Principais componentes das perdas aparentes

As perdas aparentes dividem-se, de acordo com o balanço hídrico, em duas grandes componentes:

### 2.1.2.1. Consumos não autorizados

Consideram-se consumos não autorizados todos aqueles que incluam ligações ilegais ou furtos causados por uma utilização abusiva de hidrantes e bocas de incêndio. Por seu turno, as ligações legítimas podem originar perdas aparentes decorrentes de faturação não informada, ou não registada na base de dados, ou informada, mas não acionada de forma intencional ou acidental.

O principal fator que contribui para os consumos não autorizados são os furtos de água através de ligação direta, ou também vulgarmente conhecida como “ponte” (Figura 3).



Figura 3. Furto de água através de ligação direta

Dentro da grande variabilidade de formas de consumo não autorizado destaca-se as ligações clandestinas às redes de distribuição (Figura 4). Este tipo de furto é mais usual em zonas pouco urbanizadas ou em fase de urbanização.

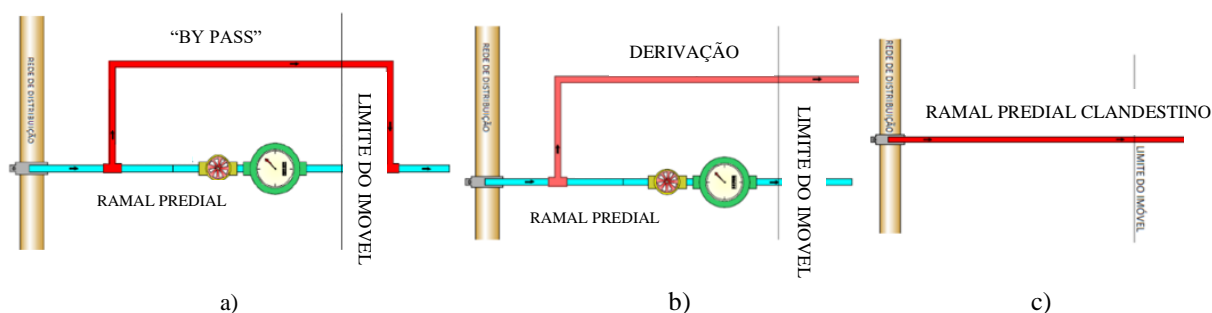


Figura 4. a) Ligação por “bypass” ao ramal; b) Ligação por derivação de ramal; c) Ligação direta (Ledo, 1999)

A ligação por *bypass* ao ramal caracteriza-se pela existência de uma ligação (*bypass*) a montante do contador e tem como ponto de intersecção na rede predial a instalação a jusante do contador, esta ligação permite que a água seja direcionada para o *bypass* e não seja medida pelo contador. Este tipo de ligação ocorre em locais cuja tipologia de construção predominante são as moradias unifamiliares.

A ligação por derivação de ramal caracteriza-se pela existência de uma derivação ao ramal predial a montante do contador para o interior do imóvel, sendo que o ponto de intersecção na rede predial ocorre no interior do imóvel. Este tipo de ligação ocorre em locais cuja tipologia de construção predominante são as moradias unifamiliares

A ligação direta, caracteriza-se pela existência de um segundo ramal ligado diretamente à rede publica de distribuição sem o conhecimento da EG, este segundo ramal abastece o imóvel sem que a água passe pelo contador.

No caso das situações representadas na Figura 4 a) e b), estas são de extrema dificuldade de deteção uma vez que a água pode continuar a passar pelo contador e o consumo simplesmente diminui.

Existe uma grande diversidade de formas de consumir água de um modo não autorizado, das mais usuais e de fácil deteção pelas EG destacam-se:

- Inversão do sentido do escoamento no contador;
- Aplicação de íman de modo a tentar travar o movimento do contador.

As perdas aparentes derivadas de situações ilícitas podem ser influenciadas por fatores sociais, culturais, políticos e financeiros, entre outros, e podem requerer mudanças organizacionais e institucionais, como tal são mais difíceis de localizar e solucionar, sendo alvo de planos de ação a médio e a longo prazo (Rocha, 2018).

Assim, o controlo das perdas aparentes por parte das EG passa, em grande parte, pela análise e subsequente resolução dos problemas associados aos consumos não autorizados.

#### 2.1.2.2. Erros de medição

Os erros de medição estão associados a erros nos contadores, ou porque estes foram “vandalizados” propositadamente (Figura 5), ou porque apresentam um certo desgaste devido

à sua elevada utilização e idade, sendo o mais comum esta última variar entre os dez e doze anos.



Figura 5. Utilização de um arame para evitar a contagem da água

O desgaste de um contador não depende exclusivamente do seu uso, mas também das características da própria água. Quanto mais agressiva física ou quimicamente é a água mais rapidamente será afetada a exatidão da medição do contador. A presença de sólidos em suspensão na água independentemente da sua dimensão (Figura 6) é outro dos fatores que influencia a qualidade da medição (Rizzo, s/ data).

Os sólidos finos, nomeadamente as areias transportadas pela água provocam abrasão nas peças mecânicas do contador, o que vai gerar o fenómeno de submedição.



Figura 6. Entupimento causado por partículas de dimensão considerável em suspensão

Um dos fenômenos que também influencia a qualidade da medição do contador é a existência de calcário no interior da câmara volumétrica do contador (Figura 7.). Este fenômeno acentua a resistência entre as peças de medição, chegando inclusive a bloquear o seu movimento. Este problema reflete-se principalmente para baixos caudais, onde a força de rotação exercida é particularmente baixa (Arregui *et al.*, 2005).



Figura 7. Acumulação de calcário no interior de um contador (Arregui, et al., 2005)

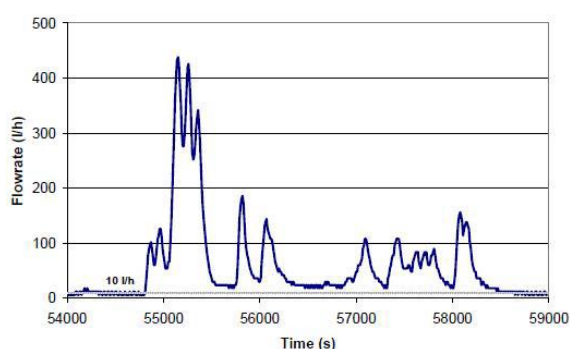
Uma grande parte dos erros de medição deve-se ao subdimensionamento ou sobredimensionamento dos contadores. Durante anos foi prática comum as EG instalarem contadores de diâmetro superior ao necessário, esta prática de forma errada visava reduzir as perdas de carga e fazer face aos prováveis aumentos de consumos. Outra prática corrente em algumas entidades era a instalação de contadores com o mesmo diâmetro que o diâmetro da conduta de entrada, o que resulta geralmente no sobredimensionamento dos contadores. O sobredimensionamento do contador provoca a subcontagem do mesmo, uma vez que o funcionamento normal deste não ocorre no regime de caudal permanente, mas sim sobretudo no regime de caudal mínimo de funcionamento ou mesmo abaixo do caudal mínimo.

Por outro lado, um subdimensionamento pode proporcionar muito rapidamente a deterioração do contador. Apesar de ter um registo com elevada exatidão de medição no momento da instalação e nos primeiros dias, existe uma grande tendência da rutura de algumas peças devido à excessiva velocidade da água (Arregui *et al.*, 2005). Como se pode verificar na Tabela 1 os baixos consumos são mais problemáticos do que os altos, o que torna o problema do sobredimensionamento do contador uma realidade com que as EG têm de se debater. Outro dos fatores que influencia diretamente a exatidão da medição é a elevada idade dos contadores.

Tabela 1. Análise de contadores com base na idade e caudal (adaptado de Criminisi *et al.*, 2009)

Idade dos contadores (anos)	Quantidade de contadores ensaiados	Caudal de arranque medio (l/h)	Erro médio aos 35 l/h (%)	Erro médio aos 120 l/h (%)
0 - 5	20	5,69	-2,60	0,78
5 - 10	20	6,69	-8,80	1,18
10 - 15	20	12,31	-8,90	2,67
15 - 20	20	11,48	-7,90	1,44
20 - 25	20	16,43	-19,50	-1,57
25 - 30	20	9,92	-7,90	-2,59
30 - 35	20	16,48	-36,80	-6,10
35 - 40	20	18,74	-45,10	-8,47
40 - 45	20	33,40	-83,10	-17,92

Nos sistemas em baixa os consumidores domésticos são os que tem o maior impacto nos erros de medição, uma vez que são em número os contadores mais representativos no parque das EG e onde se verificam os caudais mais baixos (Ncube & Taigbenu, 2019). Em sistemas prediais onde o abastecimento é efetuado através de reservatórios de armazenamento na cobertura com válvula de flutuador a probabilidade da ocorrência de subregisto nos contadores é maior. Tal deve-se à tendência de uma parte do consumo passar através do contador com um caudal inferior ao caudal mínimo especificado para o contador, na Figura 8 apresenta-se um exemplo das variações de consumo num consumidor com este tipo de reservatórios de armazenamento. É de referir que este tipo de sistema de abastecimento não é utilizado em Portugal.



(a)



(b)

Figura 8. Influência de um reservatório de armazenamento nos padrões de consumo de água: a) Padrão típico de consumo causado pelo reabastecimento dum reservatório durante uma hora, b) Reservatórios em causa (Arregui *et al.*, 2005).

Os reservatórios e as válvulas de flutuador afetam a medição dos contadores de diversas formas, sendo o tempo de enchimento dos reservatórios e o tempo de intervalo entre consumos o ponto crítico destes sistemas. Em estudos recentes verificou-se que a dimensão da válvula flutuadora, a dimensão a geometria e a posição (horizontal ou vertical) do próprio reservatório afetam de forma significativa a exatidão da medição dos contadores (Al-Washali *et al.*, 2020).

Outro dos fatores que influencia a qualidade da medição é a posição de instalação dos contadores de velocidade (turbina monojacto ou multijacto), estes devem ser instalados segundo as instruções dos fabricantes, ou seja, na posição horizontal (Figura 9). O não cumprimento desta especificação provoca o aumento do atrito das peças móveis do contador o que vai influenciar significativamente a leitura do mesmo (Martinho, 2013).

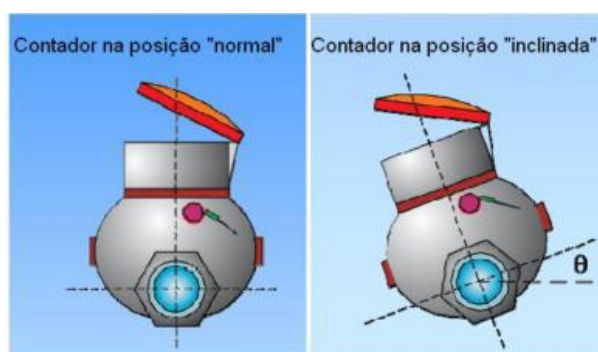


Figura 9. Esquema de instalação de um contador (Malheiro, 2011)

#### 2.1.2.3. Erros humanos

As EG consideram como erros humanos as leituras mal efetuadas. Um dos principais fatores é a falta de correspondência entre a informação recolhida pelo leitor com o valor realmente existente no contador. A perda de informação poderá acontecer de várias formas, sendo uma delas a falta de visibilidade na leitura do contador assim como a dificuldade de acesso ao mesmo. Em condições de humidade elevada o embaciamento do visor do contador pode também dificultar o processo de recolha de leituras. Normalmente os contadores instalados ao nível do solo e em muretes de jardim são mais suscetíveis de serem afetados por fenómenos de humidade o que potencia a recolha errada de leituras (Arregui *et al.*, 2006).

Quando a recolha de uma leitura se traduz na inserção de dados incorretos na base de dados da empresa, esta tem como resultado a caracterização errada do perfil de consumo de um

determinado consumidor e a informação errada que a empresa tem das leituras, o que resulta numa diversidade de incongruências (Malheiro, 2011).

#### 2.1.2.4. Erros informáticos

Os erros informáticos são derivados do processamento da informação proveniente dos leitores para a base de dados das EG. Ao passar estes erros para o *software* de faturação da EG gera-se uma faturação errada e conseqüente a difusão do erro, esta faturação caso seja penalizadora para o consumidor este reclama e o erro é detetado. Se o erro for favorável ao consumidor raramente se deteta o erro uma vez que este não se pronuncia sobre o valor que consta da fatura. Este tipo de erros pode surgir com frequência e refletem-se normalmente em aspetos semelhantes aos erros humanos, pois também aqui se trata de incorreções relativas aos dados de consumo, e por esse motivo deverão fazer parte das preocupações das EG (Silva, 2018)

## 2.2. Implicações das perdas de água

As perdas de água representam um dos maiores desafios com que as EG tem que lidar no seu dia-a-dia. A gestão das perdas de água dita toda a estratégia de renovação e expansão dos sistemas de distribuição.

### 2.2.1. Implicações económico-financeiras

As EG têm de fazer face aos custos de captação, tratamento, transporte, armazenamento e distribuição de água, sendo que quanto maior for o índice de perdas de água maior será a redução na faturação da entidade o que se traduz numa diminuição da sua capacidade de investimento e de obtenção de financiamento. A diminuição das perdas de água é vital para as EG, mas também é de extrema importância para os consumidores, uma vez, que permite ao consumidor uma qualidade de serviço superior a um preço mais justo.

### 2.2.2. Implicações ambientais

Durante largos anos existiu a falsa ideia de que a dimensão ambiental das perdas de água, só era um verdadeiro problema em zonas onde existia carência de água para consumo humano em termos quantitativos e qualitativos. No entanto, devido ao constante aumento do *stress* hídrico tornou-se evidente que as perdas de água provocam uma pressão desnecessária nas fontes de abastecimento dos recursos hídricos.

### 2.2.3. Implicações na saúde pública

A ocorrência de fugas ou roturas são potenciais fontes de contaminação, principalmente durante a reparação das mesmas, pois aquando da suspensão do abastecimento a pressão interna do sistema torna-se inferior à pressão externa aumentando substancialmente a probabilidade de existir infiltração de contaminantes para o interior do sistema. Esta situação torna-se realmente preocupante em sistemas antigos, em que as condutas de abastecimento de água foram implementadas muito próximas dos coletores de saneamento.

### 2.2.4. Implicações sociais

As EG para fazer face aos seus custos, os quais eventualmente estarão amplamente inflacionados devido às perdas de água, são obrigadas a transferir esses custos para os consumidores, o que pode contribuir para a degradação social de alguns consumidores, nomeadamente daqueles que apresentam baixos rendimentos. Embora seja prática comum nas EG a aplicação das tarifas sociais, o que se verifica na prática é que existe uma franja da sociedade que mesmo beneficiando deste tipo de tarifas apresenta grandes dificuldades em fazer face ao encargo mensal associado às faturas do consumo de água.

### 2.2.5. Outras implicações

As perdas de água, mais concretamente as perdas físicas provocam danos nas vias de comunicação, nas infraestruturas, em edifícios, entre outros, devido aos assentamentos e vazios que as mesmas provocam. Estas ocorrências levam a falhas no abastecimento que causam efeitos negativos no bem-estar do consumidor, afetando assim a relação e a confiança entre o consumidor e a EG.

## **2.3. Técnicas e metodologias para o controlo de perdas aparentes**

No caso das perdas aparentes a água é consumida, mas não é cobrada pela EG, o que acarreta custos, nomeadamente na aquisição da água e na não-faturação da mesma.

O impacte das perdas aparentes é díspar face ao das perdas físicas, uma vez que a perda de água associada às perdas aparentes não se faz sentir de forma imediata, não se tratando de um acontecimento facilmente identificável, sendo até por vezes difícil consciencializar as administrações das EG para o problema.

Os principais pressupostos para uma eficiente estratégia de combate as perdas aparentes são:

- Envolvimento de todos os sectores da EG no problema;
- Uma contínua adaptação para enfrentar as circunstâncias legais e locais;
- Parceria e partilha de conhecimento com empresas congéneres, em fóruns do sector e nas diversas comissões especializadas do sector (APDA, APRH, *etc.*);
- Reforço das competências técnicas da equipa;
- Uma constante atualização do balanço hídrico;
- Criação de zonas de medição e controlo (ZMC) e sub-ZMC.

### 2.3.1. Balanço hídrico

O balanço hídrico (Tabela 2) segundo a *IWA* é presentemente o método mais utilizado na análise de todos os componentes de um sistema de abastecimento de água, nomeadamente consumo e perdas de água. O principal objetivo do balanço hídrico é controlar e conhecer os volumes de água aduzidos, distribuídos e perdidos no sistema de distribuição.

O balanço hídrico é calculado por um período de 12 meses, de forma a minimizar os efeitos do desfasamento entre os intervalos de leitura dos contadores.

Apesar de se considerarem várias componentes, o balanço hídrico assenta essencialmente na análise de três componentes fundamentais:

- Água entrada no sistema (água adquirida/comprada pela EG);
- Água faturada em igual período (AF);
- Água não faturada (ANF).

Tabela 2. Balanço hídrico *standard* (ERSAR) (adaptado de APDA, 2014)

Água entrada no sistema (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado faturado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo faturado medido (m <sup>3</sup> /ano)	Água faturada (m <sup>3</sup> /ano)	
			Consumo faturado não medido (m <sup>3</sup> /ano)		
		Consumo autorizado não faturado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo não faturado medido (m <sup>3</sup> /ano)	Água não faturada (perdas comerciais) (m <sup>3</sup> /ano)	
			Consumo não faturado não medido (m <sup>3</sup> /ano)		
	Perdas de água (m <sup>3</sup> /ano)	Perdas aparentes (m <sup>3</sup> /ano)			Uso não autorizado (m <sup>3</sup> /ano)
					Perdas de água por erros de medição (m <sup>3</sup> /ano)
		Perdas reais (m <sup>3</sup> /ano)			Perdas reais nas condutas de água bruta e no tratamento (quando aplicável) (m <sup>3</sup> /ano)
					Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição (m <sup>3</sup> /ano)
				Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição (m <sup>3</sup> /ano)	
				Fugas nos ramais de ligação (a montante do ponto de medição) (m <sup>3</sup> /ano)	

A ANF é igual à quantidade total de água que entra na rede de abastecimento de água de uma EG (“Água entrada no sistema”) menos a quantidade total de água que os consumidores industriais e domésticos estão autorizados a utilizar (“Consumo autorizado”) (Farley *et al.*, 2008). As parcelas constituintes do balanço hídrico são detalhadas no subcapítulo seguinte.

$$\text{ANF} = \text{Água entrada no sistema} - \text{Consumo autorizado faturado} \quad \text{Eq.1}$$

#### 2.3.1.1. Componentes do balanço hídrico

- A) Água entrada no sistema - volume de água anual que entra no sistema de distribuição da EG.

- B) Consumo autorizado – Volume anual de água medido ou não medido, mas que foi efetivamente consumido pelos clientes, pelo próprio fornecedor ou por aqueles que estão autorizados, implícita ou explicitamente, a consumir.
- C) Água não faturada (ANF) – É o volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da água entrada no sistema e do consumo autorizado faturado. A água não faturada inclui não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado.
- D) Perdas de água – É a diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado. Este valor pode ser calculado para todo o sistema ou para subsistemas específicos, como o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas específicas do sistema de distribuição (*zonas de medição e controlo*). As perdas de água podem ser divididas em perdas reais e perdas aparentes.
- E) Perdas reais – É o volume de água correspondente às perdas físicas de água até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado (fugas, roturas, extravasamentos das condutas, *etc.*).
- F) Perdas aparentes – É o volume de água relacionado a todo o tipo de inexatidão, estando associado não só às medições da água produzida e consumida, como também ao consumo não autorizado, nomeadamente por furto ou uso ilícito (EPAL, 2017).

#### 2.3.1.2. Cálculo do balanço hídrico

O cálculo do balanço hídrico deve ser efetuado anualmente (12 meses completos) de forma a minimizar as diferenças temporais entre os locais de medição e faturação, tendo por base a medição efetiva de volumes. Para tal, e de modo a obter-se os valores das componentes das perdas, utilizam-se duas abordagens complementares (Figura 10) para que o cálculo e resultados apurados possam ser credíveis (EPAL, 2017).

- Abordagem *Top-Down* – Este tipo de abordagem inicia-se com uma análise mais abrangente das perdas e necessidades de intervenção de toda a rede. Numa primeira fase analisam-se os volumes entrados no sistema, os consumos autorizados faturados e não faturados e as perdas aparentes devidas a ligações ilícitas e potenciais erros de medição. Concluída a primeira fase, a análise deixa de ser efetuada a uma escala global para se centrar em sectores cada vez mais restritos, o que implica a determinação gradual das perdas aos vários níveis de discretização. Nesta abordagem as perdas são calculadas a partir da medição das diversas entradas no sistema, deduzidos os valores obtidos pelos

sistemas de faturação de clientes. Este tipo de abordagem caracteriza-se pelo fato de se tratar de uma análise efetuada com recurso à informação existente, sendo suportada essencialmente por trabalho de gabinete, não existindo praticamente trabalho de campo.

Em estudos recentes elaborados em países em desenvolvimento verificou-se que este método beneficiaria do desenvolvimento de uma metodologia objetiva para a estimativa dos volumes dos consumos não autorizados uma vez que os atuais métodos são suposições algo arbitrarias. Sendo que este método subestima o volume das perdas aparentes e superestima o volume das perdas reais (Al-Washali *et al.*, 2020).

- Abordagem *Bottom-Up* – Este tipo de abordagem só é possível de ser efetuada em sistemas que tenham as redes sectorizadas e dotadas de medição em contínuo, as chamadas zonas de medição e controlo (ZMC). Com esta abordagem é possível calcular o volume de perdas reais a partir dos valores dos caudais noturnos. Esta abordagem servirá como contraponto ao valor das perdas reais que foram calculadas pela abordagem *Top-Down* e baseia-se na análise do Caudal Mínimo Noturno (CMN) obtido com uma elevada confiança.



Figura 10. Abordagens Top-Down e Bottom-Up (EPAL, 2017)

Os passos básicos para calcular no balanço hídrico, a água não faturada e as perdas de água são os seguintes (APDA, 2014):

Passo 0: Definir os limites exatos do sistema (ou sector de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano);

Passo 1: Determinar o volume de água entrada no sistema;

Passo 2: Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido sendo o somatório destes o consumo autorizado faturado e a água faturada;

Passo 3: Calcular o volume de água não faturada, subtraindo a água faturada à água entrada no sistema;

Passo 4: Indicar o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido, sendo o somatório destes o consumo autorizado não faturado;

Passo 5: Determinar o consumo autorizado, através do somatório dos volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado;

Passo 6: Calcular as perdas de água, como a diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado;

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição, somá-las e registar o resultado em perdas aparentes;

Passo 8: Calcular as perdas reais, subtraindo as perdas aparentes às perdas de água;

Passo 9: Avaliar as parcelas das perdas reais usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas, *etc.*), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais.

### 2.3.2. Consumos não autorizados

Atualmente os métodos de deteção deste tipo de ilícitos passa pelo comparativo do volume de perdas contabilizados numa ZMC com os caudais mínimos noturnos dessa mesmo ZMC, quando a EG tem a sua rede dividida por ZMC. Quando a EG não tem a sua rede munida de ZMC alguns dos métodos utilizados são análise estatística dos consumos e as denúncias dos consumidores.

Após a identificação da existência de perdas aparentes procede-se a inspeções periódicas a imóveis com suspeitas de fraude mediante critérios definidos pelas EG, como por exemplo, existência de imóveis com piscina e baixo consumo de água, existência de imóveis com consumos nulos, existência de imóveis com consumos abaixo da média, *etc.*

A forma mais eficaz no combate a este tipo de fraude é a instalação de telemetria, uma vez que este sistema está parametrizado para a emissão de uma série de alertas definidos pelas entidades, no entanto por se tratar de uma tecnologia ainda bastante dispendiosa as EG são reticentes à aplicação em massa deste tipo de sistemas.

### 2.3.3. Erros de medição

Considera-se erro de medição quando o valor indicado no contador é maior ou menor que o volume de água que na realidade atravessou o contador.

Os erros de medição estão associados a erros nos contadores, ou porque estes foram “vandalizados” propositadamente (Figura 5), ou porque apresentam desgaste devido à idade do contador e à sua utilização (Figura 7).

Na Figura 11 pode-se verificar que contadores domésticos (linha vermelha) ensaiados a um caudal de 0.015m<sup>3</sup>/h ao fim de 10 anos de utilização apresentam erros de subfaturação na ordem dos 27%. Através de estudos recentes, nomeadamente Criminisi *et al.*, 2009 ou Arregui *et al.*, 2018 esta percentagem de erro mantém o seu padrão inalterado ao longo dos anos.

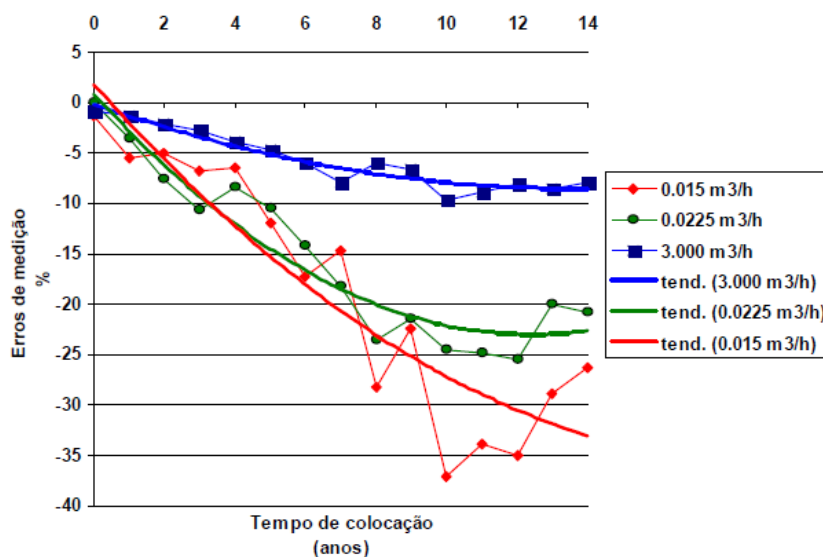


Figura 11. Erros em contadores por tempo de funcionamento (Taborda, 1998)

Atualmente em Portugal o período para a verificação periódica de um contador é estipulado através do Anexo I da Portaria 321/2019 (Tabela 3), a qual considera que todos os contadores deverão ser submetidos a uma verificação periódica, que deverá ser efetuada nos seguintes prazos em função do valor do caudal permanente.

Tabela 3. Verificação periódica de contadores

Instrumentos de medição	Prazo (anos)
Contadores de água (caudal permanente em m <sup>3</sup> /h):	
≤ 4	12
De 6,3 a 16	8
De 25 a 63	6
De 100 a 160	4

A figura jurídica da verificação periódica, na prática, acaba por ser sobretudo um indicador para o período limite de substituição do contador. Efetivamente, e sobretudo no domínio dos contadores residenciais, onde os prazos são maiores, constata-se que, em regra, os contadores não se encontram em condições metrológicas adequadas para simplesmente regressarem à rede depois de verificados. Assim, ao serem retirados seguem diretamente ou para reparação ou para abate.

Os caudais característicos dos contadores segundo a NP EN ISO 4064-1:2018, são definidos da seguinte forma:

- Caudal mínimo -  $Q_1$ ;
- Caudal de transição -  $Q_2$ ;
- Caudal permanente -  $Q_3$ ;
- Caudal de sobrecarga -  $Q_4$ .

É fundamental que as EG tenham um conhecimento real sobre o parque de contadores, conhecendo a idade dos contadores, os caudais ( $Q_1$ ,  $Q_3$ , e  $Q_4$ ), diâmetros, bem como os consumos reais e possíveis erros de medição existentes no parque de contadores.

Todos os contadores, em função principalmente da gama de caudais para os quais são dimensionados e independentemente da sua idade, apresentam erros de medição. Os erros de medição dos contadores de água não devem exceder o erro máximo admissível (EMA) quer este seja positivo ou negativo.

Segundo o Decreto-Lei 45/2017 de 27 de abril o erro máximo admissível (EMA) nos contadores de água para volumes compreendidos entre o caudal de transição ( $Q_2$ ) inclusive e o caudal de sobrecarga ( $Q_4$ ) é de:

- $\pm 2\%$  em águas com a temperatura  $\leq 30$  °C;
- $\pm 3\%$  em águas com a temperatura  $> 30$  °C.

Sendo que para o caudal mínimo ( $Q_1$ ) independentemente da temperatura da água o valor do EMA seja positivo ou negativo é de  $\pm 5\%$ .

Na Figura 12 representa-se a curva de erro característica de um contador e o limite do erro máximo admissível previsto no Decreto-Lei 45/2017 de 27 de abril.

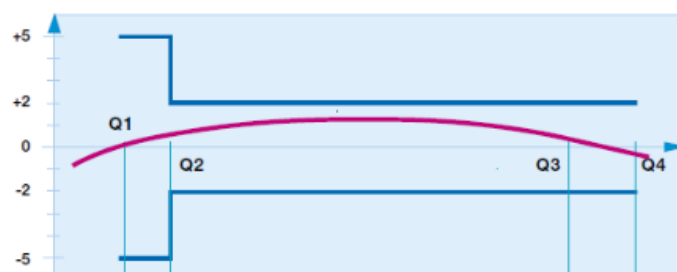


Figura 12. Curva de erros (linha vermelha) e limites do erro máximo admissível (linha azul) (curva característica de um contador volumétrico do fabricante Itron modelo Aquadis+)

É de extrema importância que os erros de medição dos contadores estejam dentro dos padrões estabelecidos pelas normas técnicas, de forma a não promover as contagens por defeito ou em excesso, resultando numa faturação incorreta, a qual prejudica quer o consumidor quer a EG.

Segundo a norma portuguesa NP EN ISO 4064-2:2018 os erros de medição devem ser obtidos através da seguinte expressão:

$$\varepsilon = \frac{(L_f - L_i) - VR}{VR} \times 100 \quad \text{Eq.2}$$

$\varepsilon$  = erro apresentado pelo contador em percentagem;

$L_i$  = leitura inicial do contador, imediatamente antes do ensaio;

$L_f$  = leitura final do contador, imediatamente após o ensaio;

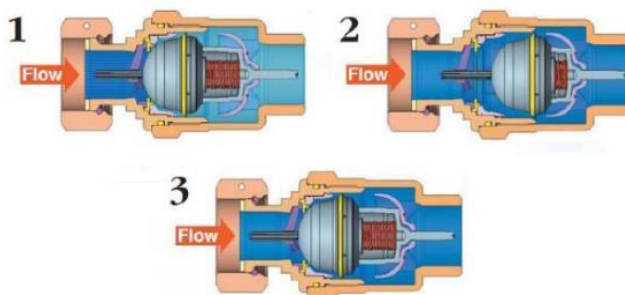
VR = volume real passado pelo contador.

Na medição através de um contador o principal problema é a dificuldade em medir os baixos caudais, isto é, a maioria dos contadores simplesmente não mede caudais inferiores a 6,5 l/h. De forma a tentar combater este problema surgiu uma solução com a designação de *Unmeasured Flow Reducer* (UFR) (Figura 13), tendo como principal objetivo a redução das perdas aparentes, este dispositivo permite alternar o regime de caudais através do contador quando se verifica a ocorrência de baixas pressões. O UFR permanece fechado enquanto a diferença de montante para jusante for baixa, mas permite a livre passagem do caudal quando a pressão se acentuar (Yaniv, n.d.).



Figura 13. UFR- Unmeasured Flow Reducer (Yaniv, n.d.).

Num primeiro momento o UFR permanece fechado até que a pressão a montante atinja o limite de abertura. De seguida, o UFR permite a passagem de água pelo contador, após este ter já adquirido um caudal tal que permite que a sua contagem seja eficaz. Por fim, quando a pressão a montante se aproxima da verificada a jusante, a válvula é fechada de novo, impossibilitando a passagem de pequenos caudais que não seriam contabilizados. Na Figura 14. apresenta-se um esquema que ajuda a entender o método (Yaniv, n.d.).



1 UFR fechado, 2 UFR aberto, 3 UFR fechado

Figura 14. Funcionamento de UFR (adaptado de Yaniv, n.d.)

Embora o sistema UFR tenha obtido resultados interessantes em alguns Países, em Portugal este sistema não obteve a aceitação que se esperaria.

Uma vez mais, a telemetria assume um papel relevante no combate às perdas aparentes, a disponibilidade de leituras de hora-a-hora e a emissão de alertas, como por exemplo a inversão do contador, ausência de consumo, violação de contador, entre outros, é fundamental no combate aos erros de medição, sejam eles motivados pela vandalização dos contadores ou quer pela quebra de rendimento do próprio contador pelos vários fatores acima descritos.

É necessário que as EG tenham um plano anual rigoroso e realista de substituição e verificação de contadores, de forma a minimizar ao máximo o erro de medição do seu parque de contadores.

#### 2.3.4. Erros humanos

Numa EG por mais pequenas que seja a sua dimensão, os erros humanos associados ao erro de leitura efetuado pelo leitor ou enviada pelo próprio consumidor, são de difícil perceção devido aos milhares de dados que a empresa trata mensalmente. De forma a minimizar este tipo de erros, atualmente as leituras são introduzidas na hora pelo leitor numa plataforma informática (*PDA, Smartphone, etc.*) a qual descarrega diretamente as leituras para um *software* que permite tratar e analisar estes dados. A maior parte destes *software* estão parametrizados para se detetar o chamado consumo zero (leitura igual à leitura do mês anterior), desvio de média (leitura superior ou inferior à média dos últimos dois meses), leitura negativa (leitura inferior à leitura do mês anterior), entre outros. Após a deteção do erro é usual a EG enviar ao local um técnico (fiscal de leituras) para analisar a situação consoante o tipo de erro detetado.

A telemetria tem um papel importante na minimização deste tipo de erros, pelo fato de eliminar o fator humano, para além desta também permitir ter leituras mensais, diárias ou até horárias, independentemente da localização do contador.

#### 2.3.5. Erros informáticos

As principais causas dos erros informáticos são as falhas de *software*, através de erros de programação. Caso a empresa não possua um bom filtro de dados, que lhe permita detetar e corrigir erros precocemente, eles permanecem no sistema criando problemas de gestão (Malheiro, 2011).

A minimização dos erros informáticos passa pela aquisição de ferramentas de auditoria e permanente controlo. Existem diversas ferramentas computacionais especializadas no assunto, sendo os métodos utilizados pelos diferentes *software* geralmente bastante similares, baseando-se na comparação da água que é fornecida com a soma dos volumes faturados na mesma área.

## 2.4. Indicadores

### 2.4.1. Nível económico de perdas (NEP)

O NEP pode ser definido como a situação em que o custo de redução de perdas em uma unidade de volume é igual ao custo de produção dessa unidade de volume de água (Figura 15). Para que ocorra o nível económico de perdas é necessário estar-se simultaneamente perante o nível económico de perdas reais e o nível económico de perdas aparentes (Alegre, 2005).

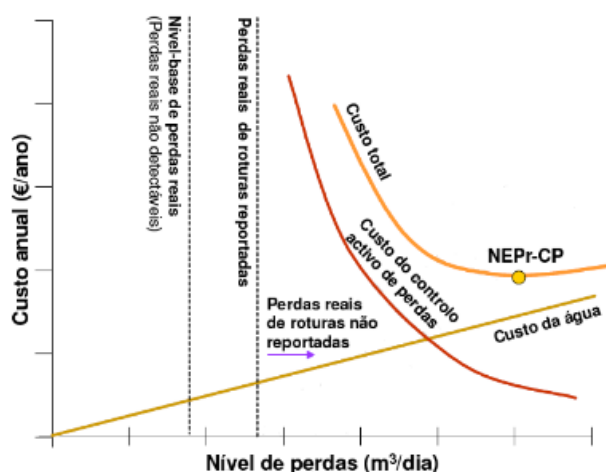


Figura 15. Nível económico de perdas (Alegre, 2005)

A evolução dos métodos de análise e controlo de sistemas de abastecimento de água permitiu a aproximação ao conceito de nível económico de perdas nos últimos anos. As EG procuram saber até que ponto valerá o esforço de reduzir as perdas de água em face do balanço económico da entidade. Haverá um ponto a partir do qual o custo da redução de um ponto percentual supera o lucro obtido por essa diminuição, atingindo-se aí o nível económico de perdas.

### 2.4.2. Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho servem para que uma empresa possa analisar o seu funcionamento, de forma a atingir os objetivos traçados pelo planeamento estratégico, analisando o que já foi atingido e o que precisa ser ajustado para atingir as metas. O sistema

de avaliação da qualidade do serviço é um instrumento suportado no uso de indicadores de desempenho o qual tem por objetivo determinar uma medida quantitativa da eficiência ou da eficácia do serviço prestado pelas EG (ERSAR & LNEC, 2019).

As EG apresentam anualmente o estudo dos indicadores de desempenho, através dos quais é possível classificar o nível das EG. Ainda que todos os indicadores apresentem o seu grau de importância, existem alguns que são recomendados para caracterização rápida da EG.

O sistema de indicadores de avaliação da qualidade do serviço (indicadores de desempenho) inclui um conjunto de indicadores distribuídos pelos objetivos abaixo descritos, os quais permitem uma caracterização rápida do funcionamento da EG:

- Adequação da interface com o utilizador, a avaliar com base nos critérios de acessibilidade (física e económica) e de qualidade do serviço prestado aos utilizadores;
- Sustentabilidade da gestão do serviço, a avaliar com base nos critérios de sustentabilidade económica do serviço, de sustentabilidade infraestrutural e de produtividade física dos recursos humanos;
- Sustentabilidade ambiental, a avaliar de acordo com os critérios de eficiência na utilização dos recursos ambientais e na prevenção da poluição (ERSAR & LNEC, 2019).

Uma das abordagens mais utilizadas na definição de indicadores de desempenho compreende a sua subdivisão em propósitos distintos, nomeadamente financeiros, operacionais e de recursos hídricos (EPAL, 2017).

Tabela 4. Principais indicadores de desempenho relativos a perdas de água (adaptado de EPAL, 2017)

Componente	Tipo	Indicador de Performance base	Indicador de performance detalhado
Água não faturada	Financeira	Volume de ANF como % do Volume de água no sistema	Valor de ANF como % de custo do sistema
Perdas de Água	Operacional	m <sup>3</sup> /ramal/ano	----
Perdas Aparentes	Operacional		m <sup>3</sup> /ramal/ano
Perdas Reais	Recursos Hídricos	Volume de perdas reais como % do Volume de água no sistema	----
Perdas Reais ( em cada caso, este indicador é calculado "/dia" quando o sistema está pressurizado para permitir o efeito do abastecimento intermitente)	Sistema Operacional	Litros/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/km conduta. Uso de m <sup>3</sup> /Km/dia para sistemas com menos de 20 ramais/Km	Índice de fugas na infraestrutura: definido como o rácio entre as Perdas reais anuais e as Perdas reais anuais inevitáveis = CARL/UARL

Através de uma recomendação da *IWA* é possível quantificar as perdas aparentes através de um indicador denominado por *Apparent Loss Index (ALI)*. O *ALI* relaciona o valor das perdas aparentes com um valor de referência de 5% da água faturada (Rizzo *et al.*, 2007).

$$\text{Indicador de perdas aparentes (ALI)} = \frac{\text{Valor das perdas aparentes}}{5\% \text{ da água faturada}} \quad \text{Eq. 3}$$

## 2.5. Contadores

O contador é um instrumento concebido para medir de forma contínua registar e indicar o volume de água que passa através do transdutor de medição, nas condições normais de funcionamento (NP EN ISO 4064-1). Os contadores têm como principal finalidade o permitir cobrar ao utilizador a água por ele consumida, sendo usados principalmente na micromedição (medição do volume consumido pelos utilizadores finais). A instalação, substituição e manutenção dos contadores é da responsabilidade das EG.

Todos os contadores existentes no mercado são obrigados a ter a marcação CE, esta indica que determinado produto obedece às normas europeias e que encontra de acordo com a legislação europeia. Os contadores são classificados e escolhidos segundo algumas características, nomeadamente, características construtivas e o seu princípio de funcionamento (tipos de contadores) e a capacidade de medição.

Segundo a ERSAR (2013) citada por Barros (2015) um contador volumétrico é constituído pelos seguintes componentes mecânicos:

- Corpo do contador:
  - Parte exterior é o invólucro do contador, constituído por fundição numa liga cúprica, latão ou bronze para pequenos contadores, ou numa liga ferrosa, aço vazado ou ferro fundido, no caso dos grandes contadores. O corpo dos contadores com diâmetro igual ou superior a 50mm apresenta, por norma, uma ligação flangeada, enquanto nos contadores de diâmetro igual ou inferior a 40mm a ligação é geralmente roscada.

- Medidor:
  - Converte a passagem da água, em movimento de rotação, permite a medição do volume que circula no interior do contador.
- Câmara volumétrica:
  - Câmara de medição em que no seu interior, se encontra um êmbolo circular oscilante (ou êmbolo rotativo). O movimento deste êmbolo transmite ao dispositivo indicador o transporte de um determinado volume de água, obtendo-se assim a contagem. O fluxo de água provoca a rotação do pistão que se encontra no interior da câmara, sendo que cada volta do pistão é equivalente a um volume conhecido de água.
- Placa de separação:
  - Elemento divisório das zonas molhadas e secas do contador.
- Eixo de transmissão:
  - Dispositivo que assegura a passagem do movimento de rotação entre as zonas molhadas e secas do contador. Esta passagem é realizada através da placa de separação, mediante transmissão mecânica, ou transmissão magnética.
- Totalizador:
  - Converte o movimento de rotação em unidade de volume. Os totalizadores podem ser classificados em:
    - Totalizadores de ponteiros e escalas circulares, indicação analógica;
    - Totalizadores de rolos, indicação digital;
    - Totalizadores de ponteiros e rolos, indicação mista.

#### 2.5.1. Tipos de contadores

Os contadores atualmente existentes no mercado, conforme o seu princípio físico de funcionamento, enquadram-se em dois grandes grupos:

- Por medição direta do volume de água passado (contagem dita positiva, direta ou volumétrica);
- Por medição da velocidade de passagem da água (contagem dita por inferência ou indireta).

Em consequência do princípio de funcionamento a que obedecem, os contadores podem ser enquadrados nos seguintes tipos construtivos:

- Contadores volumétricos
  - Êmbolo oscilante;
  - Disco oscilante (nutante).
- Contadores de velocidade (velocimétricos)
  - Turbina, monojacto;
  - Turbina, multijacto;
  - Hélice (Woltmann):
  - Estáticos.

#### 2.5.1.1. Volumétricos

Os contadores volumétricos são os mais utilizados na medição em edifícios residenciais (Figura 16). Estes medem efetivamente todo o volume de água que os atravessa, o que resulta numa exatidão na medição elevada. Podem ser de disco nutante, usados sobretudo nos Estados Unidos da América, ou de êmbolo oscilante, utilizado praticamente no resto do mundo (APDA, 2013).



Figura 16. Vários modelos de contadores volumétricos para utilização residencial (DN 15 ou DN 20)

O princípio de funcionamento baseia-se na passagem contínua da água por câmaras de volume conhecido e num mecanismo posto em movimento, pelo escoamento, enquanto aquelas câmaras

sucessivamente se enchem e esvaziam de água. Por contagem do número daqueles volumes, um dispositivo indicador totaliza o volume passado (Figura 17 a) b) e c)).

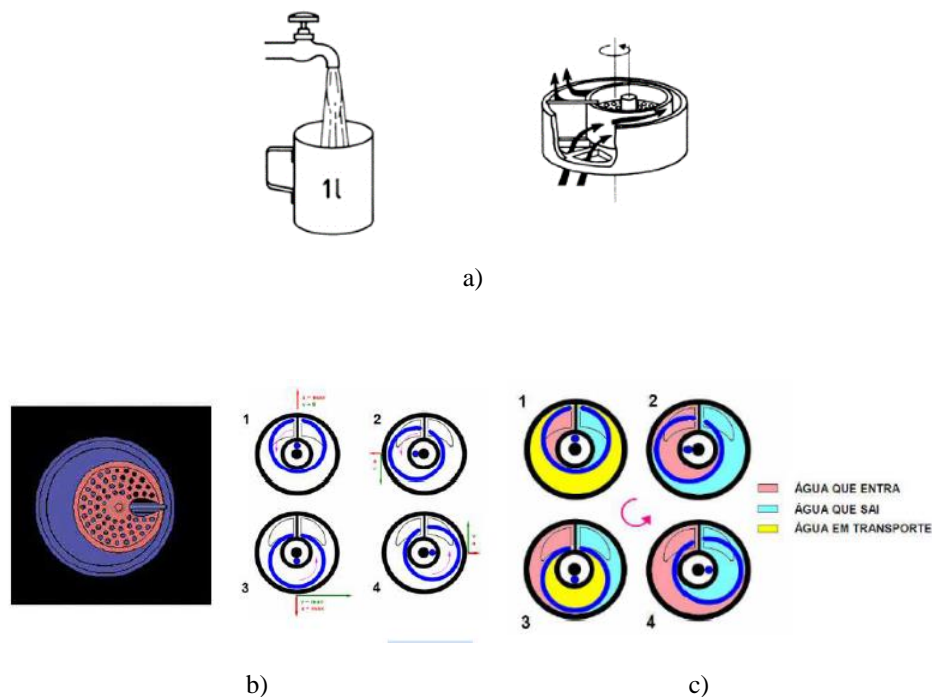


Figura 17. a) Princípio físico (volumétrico); b) Cinemática da câmara volumétrica; c) Funcionamento da câmara volumétrica (Colarejo, 2019)

#### 2.5.1.2. Contadores de velocidade (velocimétricos)

Os contadores de velocidade (mecânicos) (Figura 18) baseiam-se no movimento de uma turbina de pás planas, também chamada de molinete, provocado pela passagem da água. A sensibilidade a pequenos caudais é relativamente baixa, quando comparada com os contadores volumétricos, sendo que o arranque da turbina não se verifica antes de ser atingida uma determinada velocidade de passagem da água.

##### Contadores do tipo Monojacto

O princípio físico da medição deste tipo de contadores baseia-se na contagem de voltas que a turbina dá quando a água incide sobre ela (Figura 18), sendo que a velocidade que a turbina atinge depende da velocidade com que a água incide sobre a turbina. Cada volta efetuada pela turbina corresponde a um volume que é transmitido ao totalizador.

Estes contadores normalmente são concebidos para que a sua instalação seja efetuada na posição horizontal para que o eixo da turbina fique na vertical. Uma das suas limitações é a facilidade com que ocorrem subcontagens quando instalados em zonas onde a água é predominantemente calcária, ou onde a probabilidade da existência de partículas em suspensão na água é elevada, uma vez que estes dois fatores interferem na relação entre o caudal e a velocidade da turbina. Outra das suas limitações é o fato de o arranque da turbina do contador só acontecer quando ocorre uma determinada velocidade de passagem de água, o que torna este tipo de contador bastante suscetível a erros de medição para pequenos caudais.

As principais vantagens dos contadores velocimétricos tipo monojacto são o seu baixo custo comparativamente a um contador multijacto, o seu tamanho reduzido e compacto bem como uma maior resistência aos sólidos em suspensão na água. A denominação de monojacto advém do fato de a água neste tipo de contador incidir na turbina sobre um único ponto, ao contrário dos contadores do tipo multijacto.

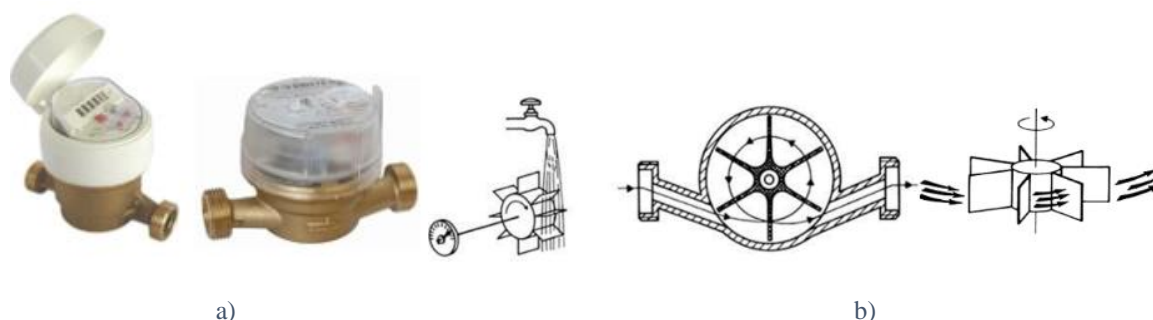


Figura 18. Contadores de velocidade mecânica (monojacto); a) contadores de DN 15 e 20mm; b) Princípio físico (velocimétrico) de um contador monojacto (Colarejo, 2019)

### Contadores do tipo Multijacto

Os contadores do tipo multijacto (Figura 19) são predominantemente utilizados em redes de rega e em estabelecimentos industriais, o princípio físico da medição é o mesmo que o dos contadores monojacto, com a diferença em que nos contadores multijacto a água incide sobre a turbina através de diversos pontos (Figura 20). Tal ocorre devido à introdução de uma câmara velocimétrica, ou também vulgarmente conhecida como câmara da turbina, equipada com dispositivos de orientação de fluxo, o que torna o seu funcionamento mais estável e com uma maior exatidão na medição comparativamente aos contadores monojacto.



Figura 19. Contador residencial multijacto

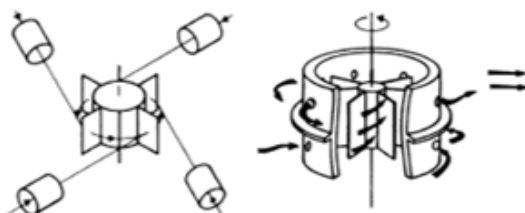


Figura 20. Princípio físico do contador Multijacto (Colarejo, 2019)

Nos contadores do tipo multijacto, existe um *bypass* cuja função é o ajuste da quantidade de caudal que incide na turbina consoante um determinado intervalo (Figura 21). Quando se verifica a desregulação ou a obstrução deste *bypass*, pode ocorrer variações significativas dos valores do erro do contador, tanto no sentido positivo como negativo.



Figura 21. Esquema do regulador de *bypass* (Colarejo, 2019)

Uma das vantagens dos contadores velocimétricos tipo multijacto é o baixo custo aquando da substituição do kit de medição, o qual pode ser efetuado com o contador no local de instalação. Outro aspeto a realçar é a sua elevada durabilidade.

Como desvantagens, comparativamente ao contador monojacto pode apontar-se o custo aquando da sua aquisição. Similarmente ao contador monojacto, este tipo de contador também é bastante suscetível a erros de medição para pequenos caudais.

#### Contadores do tipo Woltmann

Os contadores tipo Woltmann (Figura 22) são utilizados para consumidores cujas necessidades de caudal são bastante elevadas, sendo por norma aplicados em instalações que necessitam de contadores de grande diâmetro ( $DN \geq 50\text{mm}$ ).



Figura 22. Contador Woltmann

O princípio físico da medição deste tipo de contadores é igual ao dos restantes contadores velocimétricos, este baseia-se no fluxo de água que incide na turbina de pás helicoidal, também vulgarmente conhecida como hélice, na direção axial (Figura 23), sendo que a velocidade da turbina é em função da velocidade com que a água incide sobre a mesma.



Figura 23. Turbina de pás helicoidais (Woltmann)

O eixo de rotação deste tipo de contadores pode funcionar na horizontal (rotor horizontal) ou sobre a vertical (rotor vertical) (Figura 24).

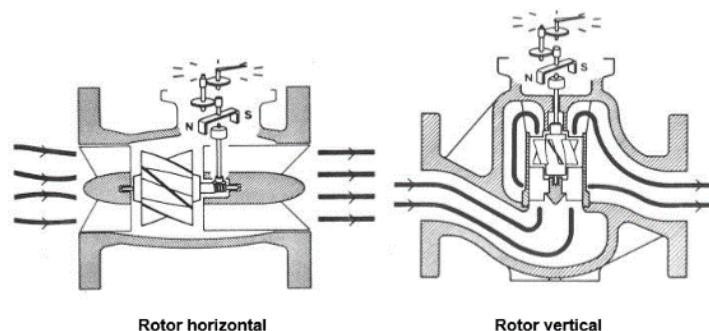


Figura 24. Esquema de funcionamento de um contador Woltmann com rotor horizontal e vertical (Colarejo, 2019)

Os contadores Woltmann de rotor vertical são mais adequados para escoamentos com turbulência, sendo que os contadores de eixo vertical são sobretudo mais sensíveis aos baixos caudais do que os contadores de rotor horizontal. Este tipo de contador é usualmente encontrado em sistemas de rega, embora os contadores de rotor horizontal provoquem uma menor perda de pressão o que facilita o escoamento.

#### Contadores conjugados

Este tipo de contadores conjuga dois contadores velocimétricos de diâmetros e capacidades diferentes, como por exemplo um contador Woltmann que efetua a medição dos caudais mais elevados e de um contador multijacto para medir os caudais mais baixos (Figura 25).



Figura 25. Contador conjugado

O princípio de funcionamento deste tipo de contador resume-se à existência de uma válvula comutadora no interior do mesmo. A válvula comutadora é ativada consoante o volume de água em trânsito no interior do contador; inicialmente esta válvula encontra-se na posição de fechada, quando o caudal é reduzido esta direciona a água para o contador de menor diâmetro (contador secundário), mas quando o caudal é elevado esta válvula deriva para a posição de aberta, devido ao aumento da perda de pressão no contador de menor diâmetro e direciona a água para o contador principal. Estes contadores normalmente são utilizados em indústrias, hospitais e escolas, onde há grandes diferenças entre os caudais mínimo e máximo.

Visto os contadores volumétricos e velocimétricos serem os contadores mais representativos nas EG, uma comparação às suas propriedades é sumariada na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação das propriedades dos contadores volumétricos e velocimétricos (Colarejo, 2011)

Parâmetros	Comportamento do contador	
	Volumétrico	Turbina
Preço	Mais elevado	Mais baixo
Caudal de arranque (sensibilidade)	Mais baixo	Mais elevado
*Rácios (R) em Q <sub>3</sub> de 1,6 e 2,5 m <sup>3</sup> /h	50 a 800	63 a 200
Exatidão (no envelhecimento)	Pouco negativo	Aleatória
Exatidão (ao longo do tempo)	Estável	Aleatória
Necessidade de assistência	Pouca	Significativa
Efeito de lamas, incrustações, algas	Pouco afetado	Muito afetado
Efeito da presença de areias	Mais afetado	Menos afetado
Dependência de condições de instalação	Indiferente	Afetado
Efeito de golpes de ariete	Resiste melhor	Resiste mal

\* Parâmetro R (denominado intervalo de medição) resulta da relação entre o caudal permanente (Q<sub>3</sub>) e o caudal mínimo (Q<sub>1</sub>).

### 2.5.1.3. Contadores estáticos ou caudalímetros

Nos contadores estáticos também designados como caudalímetros (Figura 26), o seu princípio de funcionamento baseia-se na interferência que a passagem de caudal tem num determinado efeito físico, nomeadamente num campo eletromagnético ou na propagação de ondas sonoras. Este tipo de contadores são equipamentos que efetuam a medição do caudal de forma instantânea e leituras cumulativas do volume por integração da velocidade de escoamento em relação a uma área conhecida,



Figura 26. Contador eletromagnético e ultrassónico

Assim, os contadores estáticos, podem ser do tipo eletromagnético ou do tipo ultrassónico, instalados em linha ou de inserção, sendo habitualmente utilizados em diâmetros iguais ou superiores a DN 50mm.

#### Contadores eletromagnéticos

O princípio de funcionamento de um contador estático eletromagnético baseia-se na lei de Faraday da indução eletromagnética: “Quando um condutor elétrico se move no seio de um campo magnético, é nele induzida uma força eletromotriz proporcional ao valor do campo e à velocidade do deslocamento” (Figura 27).

Como se pode verificar na Figura 27 a água é o condutor em movimento, sendo o campo magnético criado por eletroímãs que são alimentados por uma fonte de energia externa e colocados no exterior do tubo de medição. Dois eléctrodos, colocados no interior do tubo de medição, captam o sinal eléctrico gerado, sendo posteriormente enviado para o totalizador electrónico, onde é tratado e convertido em informação correspondente ao volume passado.

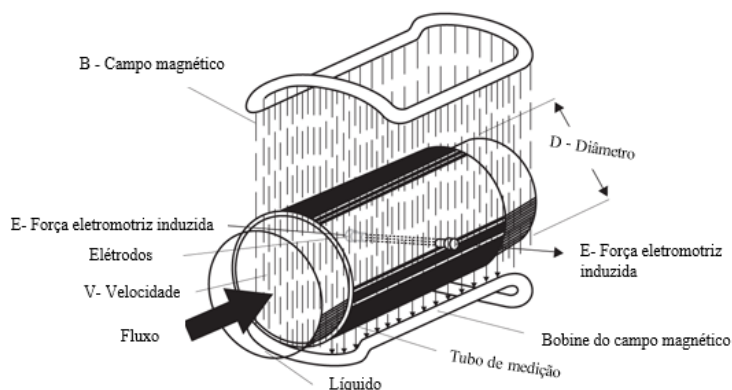


Figura 27. Princípio de funcionamento de um caudalímetros eletromagnético (Omega)

### Contadores ultrassônicos

Os contadores ultrassônicos tem sido alvo de uma grande aceitação nos últimos anos, quer pela sua grande variabilidade de diâmetros que vão desde o simples contador residencial de DN 15mm ao contador industrial que pode chegar ao DN 800mm, quer também devido à fiabilidade dos mesmos.

Os contadores ultrassônicos mais usuais nas EG são:

- Contador ultrassônico de medição do tempo de transito (Figura 28) medição direta, cujo princípio físico da medição está relacionado com a velocidade de circulação da água a partir da velocidade de propagação do som num meio em movimento.



Figura 28. Contador ultrassônicos por medição do tempo de trânsito  
(<http://www.hidrauconex.com.br/hidrometro-ultrassonico-octave.html>, 2020)

A Figura 29 mostra o princípio de funcionamento deste tipo de contador, os sons emitidos pelo sensor  $C_1$  propagam-se na água no sentido favorável ao escoamento (para jusante), sendo que as ondas acústicas emitidas pelo sensor  $C_2$  são transmitidas em sentido inverso contra o sentido do escoamento (para montante), a diferença temporal entre estas duas emissões de sons é proporcional à velocidade de escoamento.

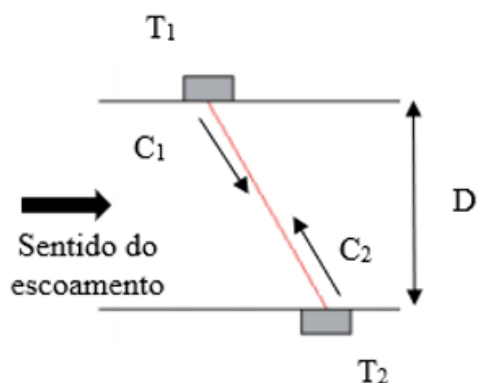


Figura 29. Princípio da medição do tempo de trânsito; T1-transdutor ultrassónico emissor/recetor; T2-transdutor ultrassónico recetor/emissor (adaptado de Coelho, 2017)

- Contador ultrassónico de efeito Doppler (Figura 30) de medição indireta, o princípio físico da medição deste contador baseia-se na reflexão que um feixe de ultrassons produz nas partículas em suspensão na água.

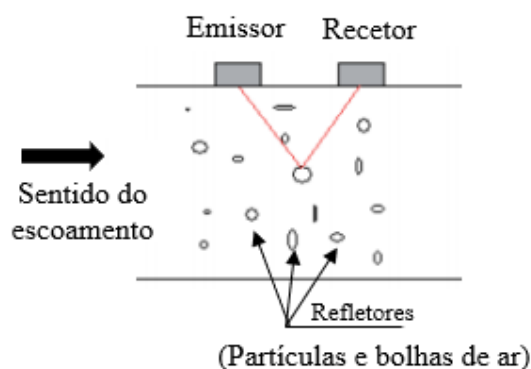


Figura 30. Princípio do efeito Doppler (adaptado de Coelho, 2017)

A Figura 30 mostra o princípio de funcionamento deste tipo de contador, uma sonda emissora emite uma série de sons de frequência que são refletidos nas partículas em suspensão existentes na água e posteriormente captados pela sonda recetora. Devido ao escoamento, a frequência do feixe refletido/captado é inferior à do feixe emitido, sendo que a velocidade do escoamento é determinada de acordo com a variação entre a frequência captada e a frequência emitida. O contador ultrassónico de efeito Doppler não mede de forma direta a velocidade da água, mas sim, a velocidade com que as partículas em suspensão são transportadas pela água.

Os contadores de efeito Doppler, comparativamente aos contadores de medição do tempo de trânsito revelam uma exatidão na medição inferior aos últimos. Esta diferença poderá estar

relacionada com a diferença entre a velocidade das partículas em suspensão na água e a própria velocidade do escoamento. Devido a este fator os contadores de efeito Doppler normalmente não são utilizados para fins de faturação.

## 2.6. Classe metrológica

As primeiras normas internacionais a definir a classe metrológica dos contadores de água são a Diretiva 75/33/CEE (atual União Europeia) e a norma ISO 4064-1:1977. Ambas as normas definem metrologicamente os contadores de água consoante a sua classe de medição por contadores de classe A, B e C.

Em 1997 é, por transposição para a legislação Portuguesa da NP 2468:1997 também estabelecida a classe metrológica D. No entanto, esta classe metrológica tem pouca expressão uma vez que a mesma não é reconhecida pela União Europeia (EU), ficando a utilização destes contadores limitada apenas aos países que tinham considerado esta classe de metrologia na sua legislação nacional. Embora Portugal tenha considerado este tipo de classe metrológica na sua legislação, esta não se mostrou apelativa para as EG, quer pelo fato de não ser reconhecida pela UE quer pelo fato de o custo de aquisição dos contadores ser superior ao das restantes classes, o que não os tornava apelativos em concursos públicos.

Na Tabela 6 estão identificadas as diferentes classes metrológicas, bem como a gama dos seus caudais de trabalho, segundo a ISO 4064-1:1995 e NP 2468:1997.

Tabela 6. Classes de medição de contadores (ISO 4064-1:1995 ou NP 2468:1997).

Classes		Contadores de $Q_n$	
		$<15\text{m}^3/\text{h}$	$\geq 15\text{m}^3/\text{h}$
Classe A	Valor de $Q_{min}$	$0,04 Q_n$	$0,08 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,10 Q_n$	$0,30 Q_n$
Classe B	Valor de $Q_{min}$	$0,02 Q_n$	$0,03 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,08 Q_n$	$0,20 Q_n$
Classe C	Valor de $Q_{min}$	$0,01 Q_n$	$0,006 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,015 Q_n$	$0,015 Q_n$
Classe D	Valor de $Q_{min}$	$0,0075 Q_n$	-----
	Valor de $Q_t$	$0,0115 Q_n$	-----

Segundo a Diretiva 75/33/CEE e a ISO 4064-1:1995, os caudais que definiam as classes metrológicas dos contadores de água eram:

- Caudal mínimo [Q<sub>min</sub>] - Menor caudal em que o dispositivo não deve exceder os erros máximos admissíveis,  $\pm 5\%$ ;
- Caudal de transição [Q<sub>t</sub>] - Caudal ao qual os erros máximos admissíveis do dispositivo mudam de valor de  $\pm 5\%$  para  $\pm 2\%$ , para água até 30 ° C;
- Caudal nominal [Q<sub>n</sub>] - Caudal correspondente a metade do valor do caudal máximo;
- Caudal máximo [Q<sub>max</sub>] - Caudal mais elevado com que o dispositivo deve funcionar sem deterioração, durante períodos limitados, não excedendo os erros máximos admissíveis.

Com a entrada em vigor da nova legislação, Diretiva 2004/22/CE e NP EN ISO 4064-1:2018 os caudais são alvo de uma nova nomenclatura e passam a ser denominados respetivamente por Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> e Q<sub>4</sub>:

- Caudal mínimo (Q<sub>1</sub>): Menor caudal ao qual o contador deve funcionar, não excedendo os erros máximos admissíveis ( $\pm 5\%$ ). O Q<sub>1</sub> pode ser determinado através da relação entre o caudal nominal (Q) e o rácio do contador (R):

$$Q_1 = \frac{Q_n}{R} \quad \text{Eq. 4}$$

- Caudal de transição (Q<sub>2</sub>): Caudal situado entre o caudal permanente e o caudal mínimo, que divide a amplitude dos caudais em duas zonas, a “zona superior” e a “zona inferior”, cada uma delas caracterizada pelos seus próprios erros máximos admissíveis que variam entre  $\pm 5\%$  e  $\pm 2\%$ . O valor atribuído a este caudal é de 160% sobre o caudal mínimo (Q<sub>1</sub>):

$$Q_2 = 1,6 \times Q_1 \quad \text{Eq. 5}$$

- Caudal permanente (Q<sub>3</sub>): Caudal mais elevado (Tabela 7), nas condições estipuladas de funcionamento, ao qual é requerido que o contador funcione de modo satisfatório dentro dos erros máximos admissíveis;
- Caudal de sobrecarga (Q<sub>4</sub>): Caudal mais elevado ao qual é requerido que o contador funcione por um curto período dentro dos erros máximos admissíveis, não comprometendo o seu desempenho metrológico quando submetido de novo às

condições estipuladas de funcionamento. O funcionamento do contador por largos períodos neste regime de caudal pode condicionar definitivamente o funcionamento do contador, o valor atribuído a este caudal é de 125% sobre o caudal permanente ( $Q_3$ ):

$$Q_4 = 1,25 \times Q_3 \quad \text{Eq. 6}$$

Com a última alteração à legislação perde-se a definição de classe metrológica e surge o conceito de Intervalo de Medição (R), o qual estabelece a amplitude de funcionamento do contador através do rácio entre o  $Q_3$  e  $Q_1$ . O contador passa a ser designado pelo valor numérico de  $Q_3$  em  $m^3/h$  e pelo rácio  $Q_3/Q_1$ .

Tabela 7. Caudal permanente  $Q_3$  ( $m^3/h$ ) segundo a NP EN ISO 4064-1:2018

1	1,6	2,5	4	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

O intervalo de funcionamento é definido pela relação  $R = Q_3 / Q_1$ . O valor de R é um valor que deverá ser escolhido de entre os valores representados na Tabela 8

Tabela 8. Valores admissíveis para o valor R segundo a NP EN ISO 4064-1:2018

						40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Os rácios dos diversos caudais são definidos através das seguintes expressões:

$$Q_2 / Q_1 = 1,6 \quad \text{Eq.7}$$

$$Q_4 / Q_3 = 1,25 \quad \text{Eq.8}$$

$$Q_3 / Q_1 = R \quad \text{Eq.9}$$

## 2.7. Legislação/normalização

Segundo o Instituto Português da Qualidade (IPQ) a metrologia legal é definida através da seguinte frase:

*“A metrologia legal garante a exatidão do resultado das medições nos limites definidos regulamentarmente, tornando as transações comerciais mais justas e eficazes, contribuindo para a correção e transparência do comércio, facilitando o desenvolvimento do comércio mundial e a globalização dos mercados e reforçando a credibilidade e a confiança das medições.”*

A realização de operações de controlo metrológica está relacionada com a aplicação da legislação regulamentar.

### 2.7.1. Legislação na medição de consumos

- Decreto-Lei n.º 291/90, de 20 de setembro, estabelece o regime de controlo metrológico de métodos e instrumentos de medição e a Portaria n.º 962/90, de 9 de outubro, que aprova o regulamento geral do controlo metrológico;
- Decreto-lei 45/2017 de 27 de abril, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2014/32/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de fevereiro de 2014 vulgarmente conhecida por MID (*“Measuring Instruments Directive”*), alterada pela Diretiva Delegada (UE) 2015/13, da Comissão, de 31 de outubro de 2014, estabelece as regras aplicáveis à disponibilização no mercado e colocação em serviço de instrumentos de medição (contadores de água, de energia elétrica ativa, taxímetros, etc.);
- Portaria n.º 321/2019 de 19 de setembro revoga a anterior Portaria 21/2007, o Anexo I faz parte integrante do Regulamento do Controlo Metrológico Legal dos Instrumentos de Medição (Decreto-Lei 291/90, de 20 de setembro). Desta Portaria destaca-se que o período para a verificação periódica dos instrumentos de medição mantém-se inalterado, sendo a alteração significativa introduzida por esta norma é que os erros máximos admissíveis (EMA) nas verificações em serviço passam para o dobro do preconizado na anterior portaria;
- NP EN ISO 4064-1:2018-pt: Contadores de água potável fria ou quente - Requisitos metrológicos e técnicos;
- NP EN ISO 4064-2:2020-pt: Contadores de água potável fria ou quente - Métodos de ensaio.

### 2.7.2. Legislação no combate aos ilícitos

Os sistemas públicos de distribuição de água, são bastante vulneráveis a um conjunto de atos fraudulentos praticados por parte de uma minoria dos seus utilizadores. Estes atos contribuem para que os prevaricadores obtenham uma situação privilegiada face aos restantes utilizadores dos sistemas públicos, colocando em causa a sustentabilidade das EG e a eficiência operacional dos sistemas, mais concretamente na componente das perdas aparentes. As EG seguem no combate aos usos ilícitos da água a seguinte legislação:

- Decreto-Lei n.º 194/09, de 20 de agosto, estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos. Este Decreto-Lei prevê no regime sancionatório para os proprietários de edifícios abrangidos por sistemas públicos ou dos utilizadores dos serviços contraordenações para uma série de atos;
- Regulamentos de serviço das EG;
- Código civil.

### 3. CASO DE ESTUDO – EMAS DE BEJA

#### 3.1. Apresentação da EMAS de Beja, EM

##### 3.1.1. A Criação dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS)

Em sessão da Câmara Municipal de Beja de 13 de maio de 1911 foi aprovado um documento intitulado “Condições para o Fornecimento de Água na Cidade de Beja”; no qual constavam todas as condições, tarifas, preços e garantias que a empresa responsável pela distribuição de água teria de cumprir.

Na sequência da deliberação da Câmara Municipal em 1 de novembro de 1920, o conselho de gerência tomou posse em 20 de janeiro de 1921 e o abastecimento de água à cidade de Beja teria início em 01 de abril de 1924, pelos então Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento de Beja (SMAS).

##### 3.1.2. A Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Beja (EMAS)

A EMAS de Beja, EM (Empresa Municipal de Águas e Saneamento) é uma empresa municipal em atividade desde 2003 (Figura 31), ao abrigo da Lei n.º 58/98 de 18 de agosto e constituída exclusivamente por capitais públicos pertencentes à câmara municipal de Beja. Esta empresa foi criada em 2001 por transformação dos SMAS (Serviços Municipalizados de Água e Saneamento) de Beja, herdando assim dos SMAS a experiência de 83 anos de serviço público de qualidade prestado à população do Concelho.



Figura 31. Evolução do logotipo da EMAS de Beja (<http://www.emas-beja.pt/empresa>)

##### 3.1.2.1. Estrutura organizacional

###### Macroestrutura

Para além do Conselho de Administração e do Diretor Executivo, a EMAS é constituída pelas seguintes unidades orgânicas na dependência do Diretor Executivo (Figura 32):

Divisões:

- Divisão Administrativa, Financeira e Comercial (DAFC);
- Divisão de Projetos, Empreitadas e Infraestruturas (DPEI);
- Divisão de Operação e Manutenção – Abastecimento (DOMA);
- Divisão de Operação e Manutenção – Saneamento (DOMSA);
- Divisão de Laboratório (Laboratório da EMAS).

Microestrutura

- Na dependência do Administrador Executivo estão os gabinetes de Sistemas de Informação (GSI), gabinete de Apoio à Administração (GAA), gabinete de Comunicação Integrada e gabinete de Sensibilização Ambiental (GCISA) e o Apoio Jurídico;
- Na dependência da Divisão Administrativa, Financeira e Comercial (DAFC) existe a Secção Comercial (SC), a Secção Financeira (SF) e a Secção Administrativa (SA);
- Na dependência da Divisão de Operação e Manutenção – Abastecimento (DOMA) existem os gabinetes de Informação Geográfica e Gestão Operacional (GIGGO) e o gabinete de Gestão de Redes e Controlo de Perdas (GRCP);
- Na dependência da Divisão de Projetos, Empreitadas e Infraestruturas (DPEI) existem os gabinetes de Projetos (GP) e o gabinete de Obras e Fiscalização (GOF);
- Na dependência da Divisão de Sustentabilidade e Inovação existem os gabinetes de Controlo de Qualidade (GCQ) o gabinete de Higiene e Segurança no Trabalho (GHST) e o Laboratório da EMAS (LAB).

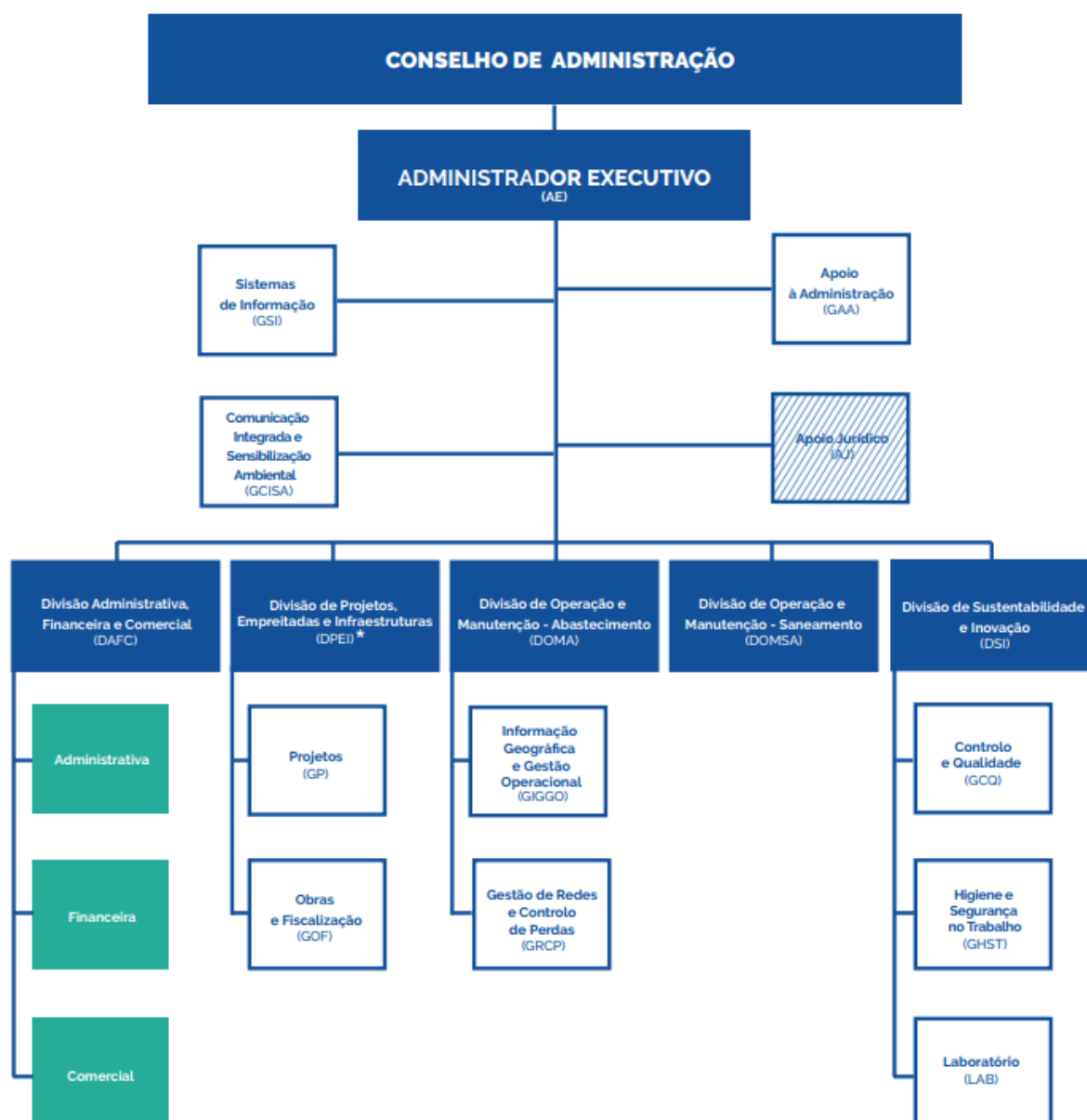


Figura 32. Estrutura orgânica da EMAS de Beja, EM (<http://www.emas-beja.pt/empresa>)

### 3.1.2.2. A rede de distribuição de água do concelho de Beja

Segundo o Decreto-Lei 306/2007 de 27 de agosto, a rede de distribuição caracteriza-se como sendo “o conjunto de tubagens e acessórios instalados para a distribuição da água para consumo humano desde os reservatórios, ou captações ou estações de tratamento de água, até à entrada nos sistemas de distribuição prediais.”

A EMAS de Beja é a EG dos sistemas públicos de abastecimento em baixa, tendo como missão conceber, construir e explorar as infraestruturas de abastecimento de água e de saneamento na

componente em baixa. Deste modo, é responsável, em parte, pelo armazenamento de água (Beja e Vale de Russins), pela elevação (Beja) e distribuição de água (nas 12 freguesias do concelho) (Figura 33), para consumo público aos sistemas prediais. É, assim, responsável pela qualidade da água distribuída na rede de distribuição e na torneira do consumidor.



Figura 33. Freguesias do concelho de Beja (<http://www.pracadarepublicaembeja.net/autor/nikonman/page/57>)

Não cabe à EMAS a captação e o tratamento da água nos sistemas de abastecimento com a exceção de Vale de Russins, onde a EMAS é integralmente responsável pela captação, tratamento, armazenamento e distribuição de água. A captação e o tratamento da água são da responsabilidade da empresa Águas Públicas do Alentejo (AGDA, SA), sendo essa água tratada e adquirida posteriormente pela EMAS de Beja.

O abastecimento de água ao concelho de Beja é constituído por dois tipos de sistemas, de acordo com a origem da água:

- Sistema de abastecimento da Magra

A água captada na Albufeira da Magra integra o sistema do Alqueva, esta é tratada na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Magra que se localiza a cerca de 10 km da cidade de Beja. A captação e tratamento são da responsabilidade da EG em alta, AGDA, SA. O sistema da Magra também integra captações de água subterrânea que funcionam como reforço ao abastecimento a partir da ETA da Magra. A captação de água subterrânea e respetivo tratamento são

igualmente da responsabilidade da Entidade Gestora em alta, AGDA, SA. As captações de água subterrânea estão localizadas nas áreas circundantes às localidades de Beja e Beringel.

Desde 23 de janeiro de 2020 que o sistema da Magra é responsável pelo abastecimento a cerca de 98% da população do concelho de Beja (Figura 34). As localidades abastecidas por este sistema são as seguintes:

- Salvada, Cabeça Gorda, Quintos, Baleizão;
- Beja, Santa Clara Louredo, Nossa Senhora das Neves, Vila Azedo, Maria do Vale e Porto Peles;
- Penedo Gordo, Santa Vitória;
- Mina da Juliana, Monte da Juliana, Albernoa, Trindade;
- Beringel, Trigaches, S. Brissos.

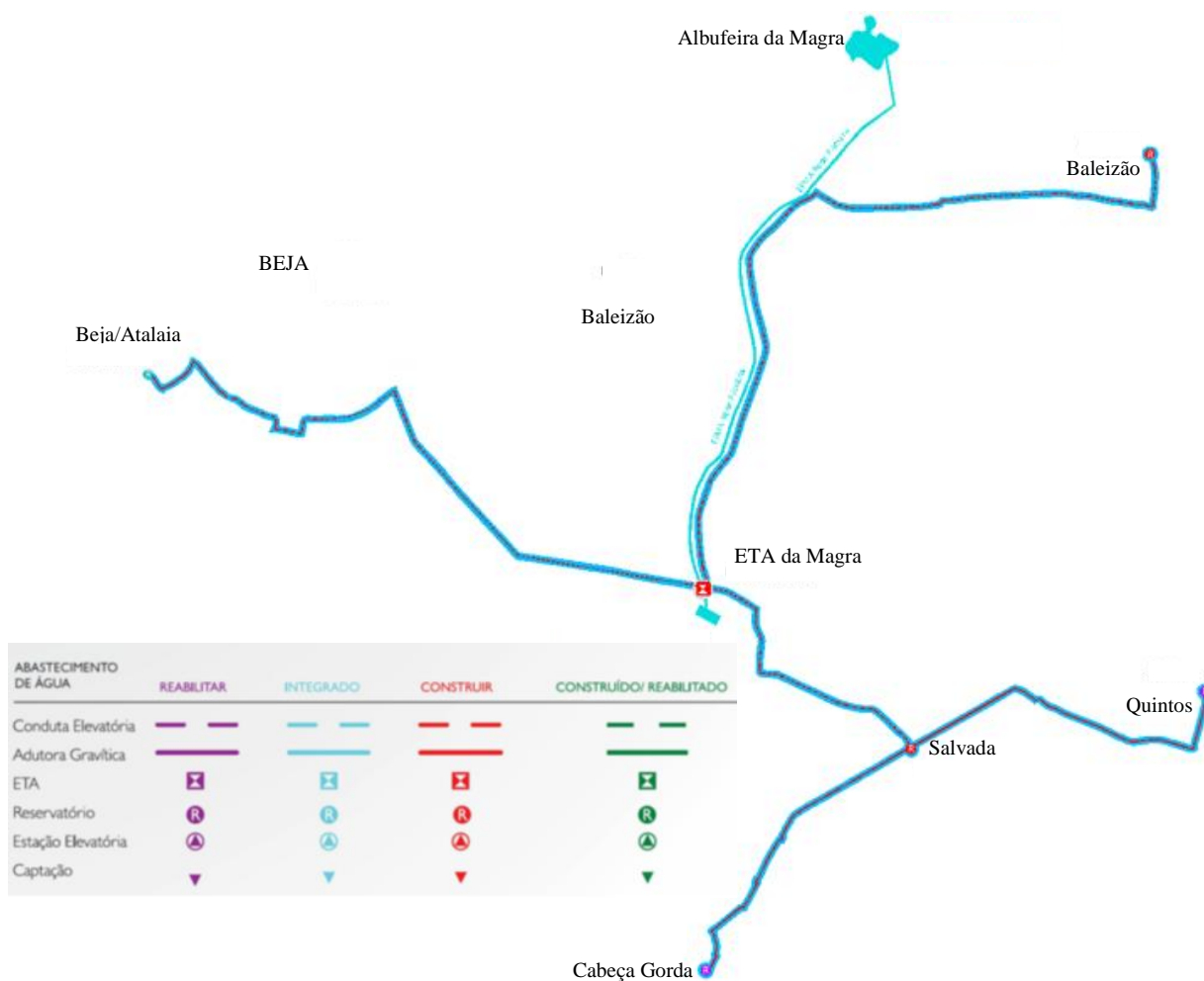


Figura 34. Sistema de abastecimento da Magra (AGDA, SA)

- Outros sistemas de abastecimento

Outros sistemas são abastecidos por água de origem subterrânea, sendo estes os sistemas de:

- São Matias;
- Mombeja;
- Vale de Russins (freguesia de Salvada).

A responsabilidade da EMAS relativamente ao tratamento centra-se em pontos de reforço de cloração (desinfecção):

- Beja (quatro unidades);
- Vale de Russins (uma unidade).

#### Balanço hídrico da EMAS de Beja

O balanço hídrico da EMAS de Beja no ano de 2019 (Figura 35) mostra que estamos perante um sistema com uma qualidade de serviço mediana segundo os indicadores da ERSAR para a água não faturada (ANF) (Figura 36), em que 22% da água entrada no sistema não é faturada.

Água entrada no sistema	Consumo autorizado	<b>Consumo autorizado</b>	<b>Consumo faturado medido</b> (incluindo água exportada)	Água faturada
		<b>faturado</b>	1.997.453	
		1.998.897	m <sup>3</sup> /ano	
		m <sup>3</sup> /ano	77,7%	
		77,7%	<b>Consumo faturado não medido</b>	
			1.444	
		m <sup>3</sup> /ano	0,1%	
		<b>Consumo não faturado medido</b>	Água não faturada  (perdas comerciais)	
		2.895		
		m <sup>3</sup> /ano		
	2.209.036	0,1%		
	m <sup>3</sup> /ano	<b>Consumo não faturado não medido</b>		
	85,9%	210.139		
		m <sup>3</sup> /ano	207.243	
	8,2%	m <sup>3</sup> /ano	8,1%	
	<b>Perdas aparentes</b>	<b>Uso não autorizado</b>	Água não faturada  (perdas comerciais)	
		23.195		
2.570.984		m <sup>3</sup> /ano		
m <sup>3</sup> /ano	83.118	0,9%		
100%	m <sup>3</sup> /ano	<b>Perdas de água por erros de medição</b>		
	3,2%	59.923,59		
		m <sup>3</sup> /ano	2,3%	
	<b>Perdas reais</b>	<b>Perdas reais nas condutas de água bruta e no tratamento</b>	Água não faturada  (perdas comerciais)	
		0		
361.948,20		m <sup>3</sup> /ano		
m <sup>3</sup> /ano		<b>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição</b>		
14,1%		55.200,0		
		m <sup>3</sup> /ano		22,3%
		278.830,11		
		m <sup>3</sup> /ano		
		<b>Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição</b>	Água não faturada  (perdas comerciais)	
		638,0		
		m <sup>3</sup> /ano		
		<b>Fugas nos ramais de ligação (a montante do ponto de medição)</b>		
		222.992,1		
		m <sup>3</sup> /ano		

Figura 35. Balanço hídrico da EMAS de Beja no ano 2019 (EMAS, 2020)

AA08ab – Água não faturada (%)		
Percentagem de água entrada no sistema que não é faturada.		
$AA08ab = dAA53ab / dAA41ab \times 100$		
dAA41ab – Água entrada no sistema (m³/ano)		
dAA53ab – Água não faturada (m³/ano)		
Valores de referência para sistemas em	alta	baixa
Qualidade do serviço boa	[0,0; 5,0]	[0,0; 20,0]
Qualidade do serviço mediana	]5,0; 7,5]	]20,0; 30,0]
Qualidade do serviço insatisfatória	]7,5; 100]	]30,0; 100]
Código IWA: FI46	Código ERSAR anterior: AA08ab	

Figura 36. Indicador de qualidade do serviço de abastecimento de água; indicador de sustentabilidade económica (ERSAR, 2019)

Como se pode verifica através da Figura 37 a ANF na EMAS de Beja tem sido alvo de especial atenção nos últimos anos. A EMAS de Beja alcançou uma redução de 19,05% nos últimos nove anos sendo que uma grande parte desta redução, se deve à substituição programada de condutas e ramais bem como à criação das ZMC (Figura 38).

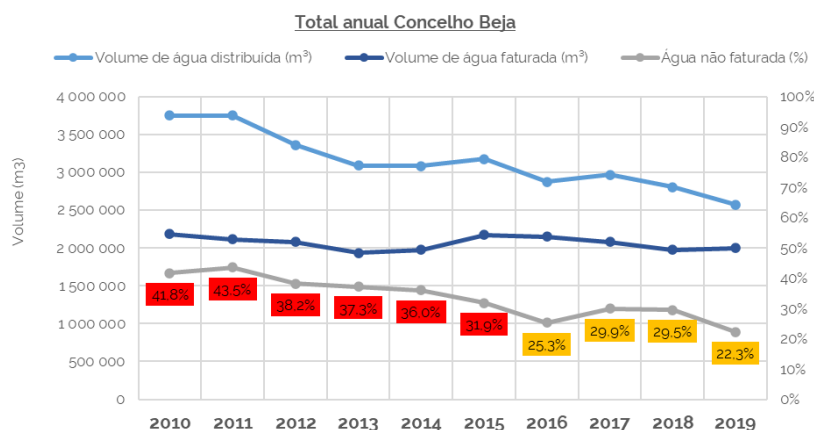


Figura 37. Gráfico da evolução histórica da ANF na EMAS de Beja (EMAS-GCQ, 2020)

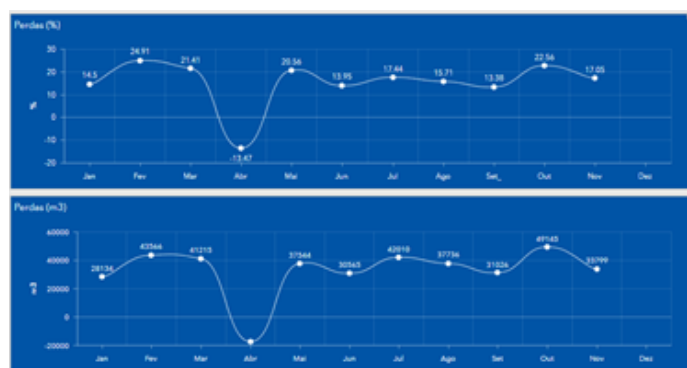


Figura 38. Controlo da ANF através das ZMC (EMAS-GRCP,2020). Imagem a baixa resolução, apenas exemplificativa do output do sistema.

### Parque de contadores da EMAS de Beja

A EMAS de Beja tem um parque de contadores com 20905 contadores, com uma idade média de 9 anos (Figura 39), encontrando-se dentro do preconizado pelo Anexo I da portaria n.º 321/2019 de 19 de setembro.

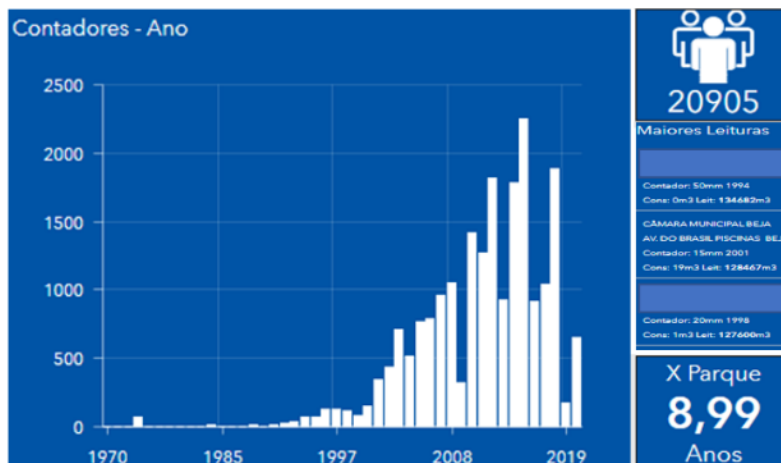


Figura 39. *Dashboard* contadores de água (EMAS-GIGGO, 2020)

Os contadores domésticos também normalmente designados por residenciais (Figura 40) representam 87% do parque de contadores da EMAS de Beja o que perfaz um total de 18287 contadores, sendo a classe de consumo mais representativa do referido parque. O consumo médio mensal desta classe de consumo é de 6,3m<sup>3</sup>.

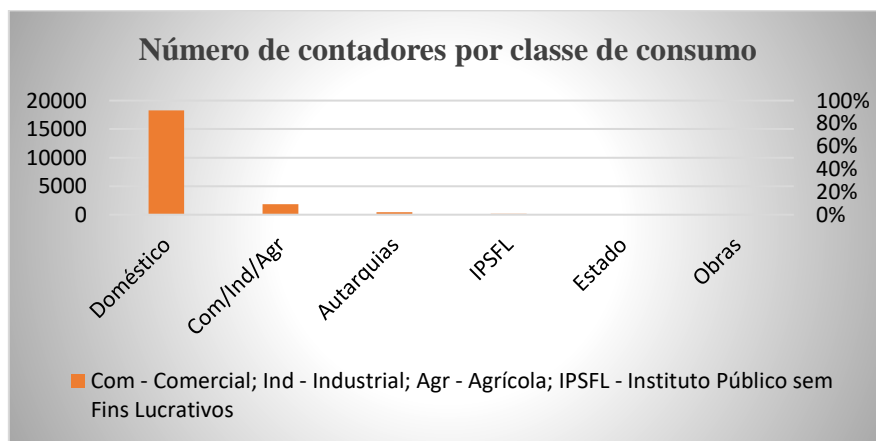


Figura 40. Quantificação dos contadores por classe de consumo (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

Os diâmetros dos contadores mais representativos no parque de contadores da EMAS de Beja são os DN 15 e 20mm (Figura 41), sendo os fabricantes mais representativos do referido parque a Janz e a Flowsystem (Figura 42).

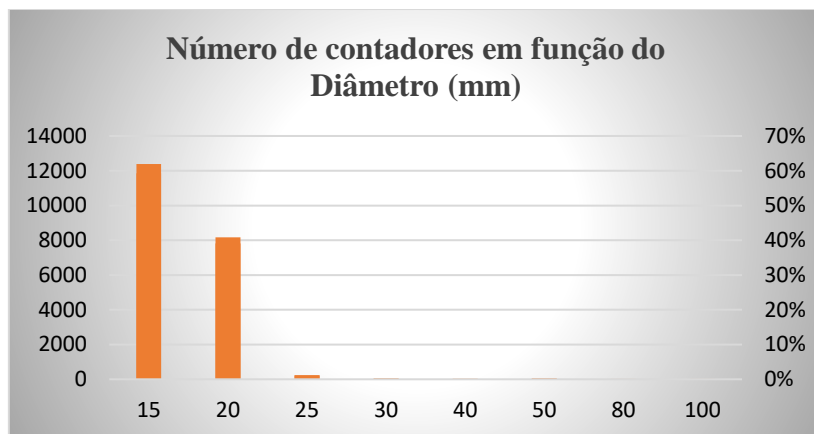


Figura 41. Quantificação dos contadores por DN (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

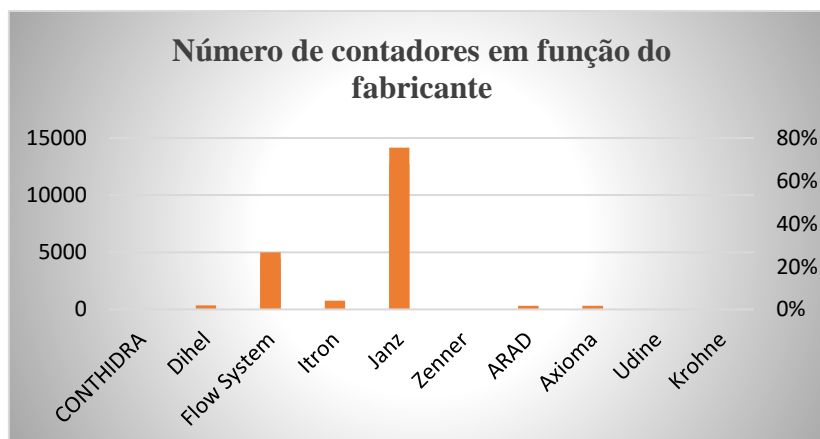


Figura 42. Quantidade de contadores por fabricante (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

### 3.1.2.3. A rede de distribuição de água na cidade de Beja

Desde 1 de julho de 2010 a EMAS passou a adquirir a água de abastecimento para a população do Concelho de Beja, em baixa, tornando-se assim, entidade gestora em baixa. Deste modo, a empresa AGDA, S.A. passou a ser a entidade gestora em alta, sendo o ponto de entrega a Estação Elevatória (EE) da Pia Quebrada. A água é elevada pela ETA da Magra da cota 200m até ao reservatório da Atalaia o qual se situa à cota 241/244 através de uma conduta adutora de diâmetro 350mm. Do reservatório da Atalaia a água é transportada até à EE da Pia Quebrada

(Figura 43) por gravidade (cerca de 1300m de conduta DN 600mm). Posteriormente é elevada por intermédio de três circuitos, para três patamares de pressão distintos: zona alta, zona baixa e zona inferior.



Figura 43. Estação elevatória da Pia Quebrada

Para além da EE da Pia Quebrada, a rede de distribuição de água na cidade de Beja é também constituída por três reservatórios (Figura 44), com diferentes capacidades e cotas (Tabela 9).

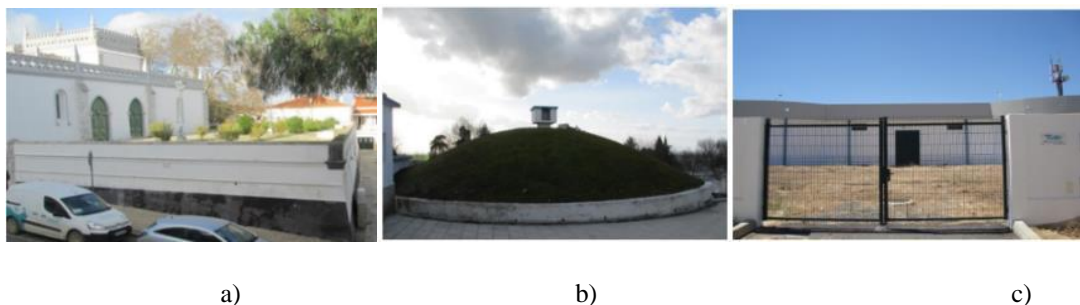


Figura 44. a) Reservatório da Conceição, b) Reservatório da Mata, c) Reservatório dos Falcões

Tabela 9. Características dos reservatórios (EMAS, 2020)

Reservatório	Cota (m)	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Mata	264	2 x 1000
Conceição	280	2 x 600
Falcões	250	2 x 900

O processo de distribuição termina com a adução da água através de condutas e ramais até aos seus utilizadores.

No passado, Beja foi uma cidade de alguma importância militar, posicionada estrategicamente no cume de uma pequena elevação. Assim, o terreno onde se encontra tem uma diferença de cotas de aproximadamente 100m. Por esta razão, a rede pública de distribuição de água faz-se através de três patamares de pressão: zona alta, zona baixa e zona inferior.

A zona alta funciona entre as cotas 286m e 260m. A zona baixa funciona entre as cotas 260m e 230m e a zona inferior funciona entre as cotas 230m e 190m. Da EE elevatória da Pia Quebrada, implementada à cota de 245m, a água é elevada para três reservatórios, o reservatório da Mata, o reservatório da Conceição e o reservatório dos Falcões.

Os limites destas zonas encontram-se em contínuas alterações (Figura 45), por execução de projetos os quais induzem alterações na rede, ou porque existem locais na cidade onde é possível alterar esses limites através da abertura ou fecho de válvulas de seccionamento na rede.

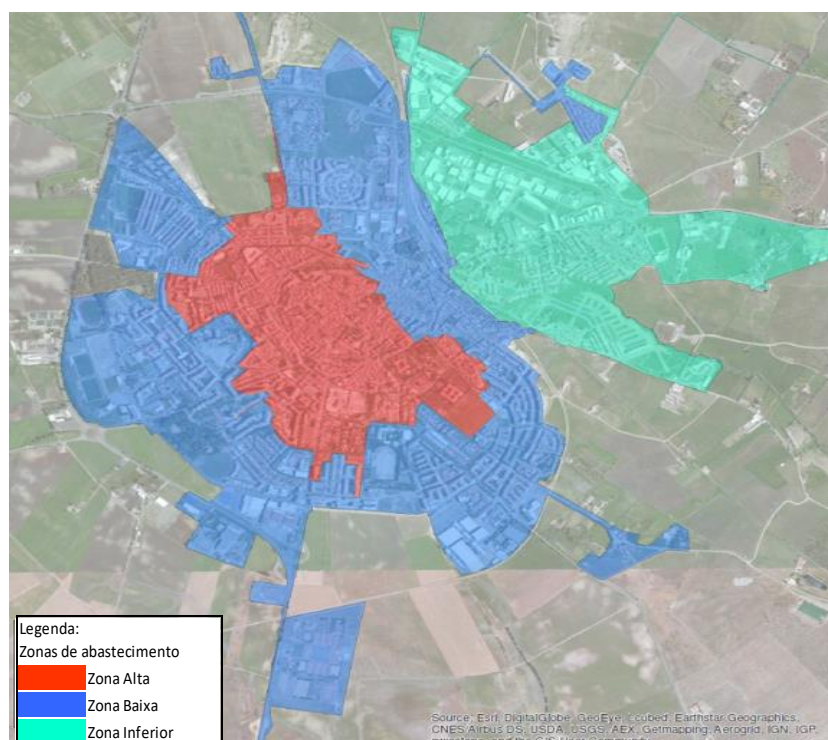


Figura 45. Zonas de abastecimento (EMAS - GIGGO)

Para abastecer a zona alta é utilizada a EE da Pia Quebrada durante 22 h/dia e a EE da Mata durante 2 h/dia. A EE da Mata é alimentada pelo reservatório da Conceição através de uma

conduta de dois sentidos em fibrocimento, com um comprimento de aproximadamente 800m e com diâmetro de 250mm.

Para abastecer a zona baixa é utilizado o reservatório da Conceição, este reservatório é alimentado pela EE da Pia Quebrada através de uma conduta em ferro fundido de diâmetro 350 mm, com cerca de 2350 m. A partir deste reservatório a água é distribuída para a zona baixa da cidade e para o lugar do Padrão, que dista do mesmo a cerca de 7000m. Além do reservatório da Conceição, também o reservatório da Mata é utilizado para abastecer a zona baixa.

Para abastecer a zona inferior, que corresponde aos bairros situados na depressão a nascente da cidade, é utilizado o reservatório dos Falcões. Este reservatório é alimentado pela EE da Pia Quebrada através de uma conduta com o comprimento de 2800m, cujo diâmetro varia entre os 600mm e os 280mm.

Além dos diferentes patamares de pressão, a cidade encontra-se dividida em 32 Zonas de Monitorização e Controlo (ZMC) (Figura 46), seis para a zona alta, 16 para a zona baixa e 10 para a zona inferior. Estas ZMC permitem monitorizar os volumes de água distribuídos, o consumo ao longo do dia e a pressão de distribuição de cada zona, permitindo, deste modo, identificar problemas e atuar rapidamente. Permitem também conhecer e registar os valores do desinfetante residual presente.

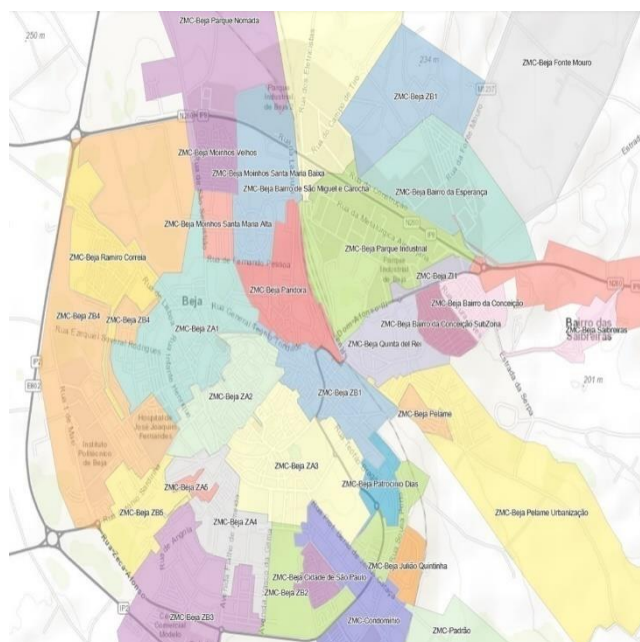


Figura 46. Zonas de medição e controlo (EMAS - GIGGO)



## 4. ENSAIOS LABORATORIAIS

### 4.1. Materiais e procedimentos de ensaio

#### 4.1.1. Contadores a ensaiar

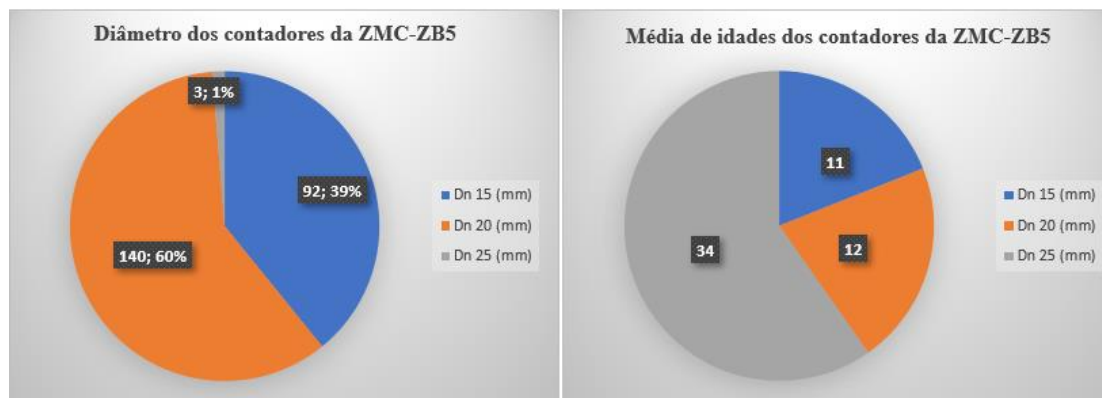
Na determinação dos contadores a ensaiar optou-se por escolher todos os contadores de uma ZMC para que as condições de funcionamento dos mesmos ao longo dos anos tenha sido uniforme, nomeadamente no que se refere à pressão disponível na rede, às características da água, e aos materiais das redes públicas e prediais de água.

Desta forma optou-se por ensaiar os contadores da ZMC-ZB5 (Figura 47), também vulgarmente designada como ZMC do Bairro Alemão, devido ao fato desta ZMC reunir os critérios acima descritos, mas também por se tratar de uma ZMC com características bastante particulares.



Figura 47. Contadores da ZMC-ZB5

O Bairro Alemão trata-se de um bairro residencial que foi construído há mais de 50 anos devido à necessidade de alojar as unidades de instrução da Força Aérea Alemã (*Deutsche Luftwaffe*) e tem um total de 330 habitações. A partir de 1993 e com a saída dos militares alemães de Beja, o bairro passou para a posse da Força Aérea e está sob a administração direta do Comando da Base Aérea (BA) 11 em Beja. Este bairro é atualmente composto por 235 consumidores domésticos e a tipologia dos imóveis varia entre os apartamentos T1 e o T3. Na Figura 48 representam-se os diâmetros dos contadores existentes nesta ZMC e a idade média dos mesmos.



a)

b)

Figura 48. a) Diâmetro dos contadores (mm); b) Idade média dos contadores em função do seu diâmetro (anos) (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

O consumo médio mensal dos consumidores que compõem esta ZMC é de  $5,9\text{m}^3$  (Figura 49), o que vai de encontro ao consumo médio mensal para consumidores domésticos no concelho de Beja, no entanto verifica-se uma particularidade, os contadores de DN 20mm cujo  $Q_3$  é de  $2,5\text{m}^3/\text{h}$  apresenta uma média mensal de consumo superior à média mensal dos contadores com DN 25mm, em que o  $Q_3$  é de  $6,3\text{m}^3/\text{h}$ . Tratando-se de consumidores domésticos cujo padrão de consumo é idêntico, este fato indicia que os contadores de DN 25mm estão sobredimensionados face às atuais necessidades.

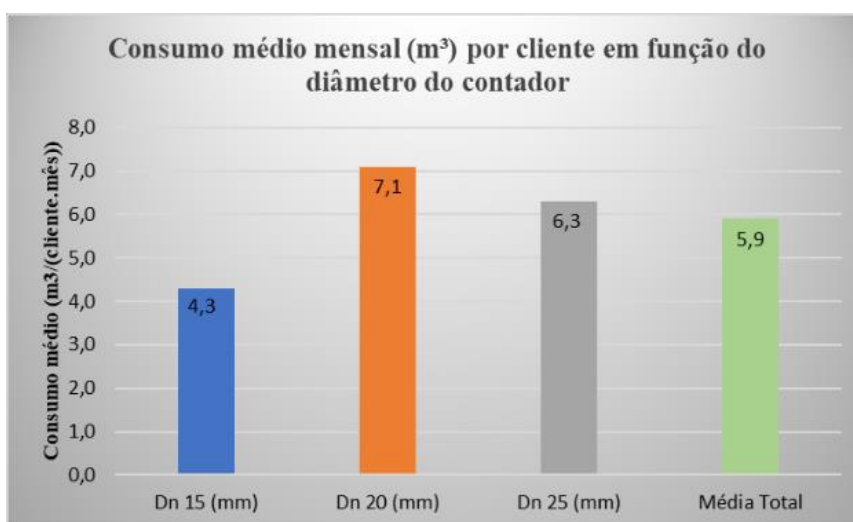


Figura 49. Consumo médio ( $\text{m}^3/\text{mês}/\text{cliente}$ ) em função do diâmetro do contador (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

O parque de contadores desta ZMC é constituído na sua totalidade por contadores volumétricos, sendo os fabricantes mais representativos, tanto no parque geral de contadores da EG como nesta ZMC, a JANZ e a FLOW SYSTEMS (Figura 50).

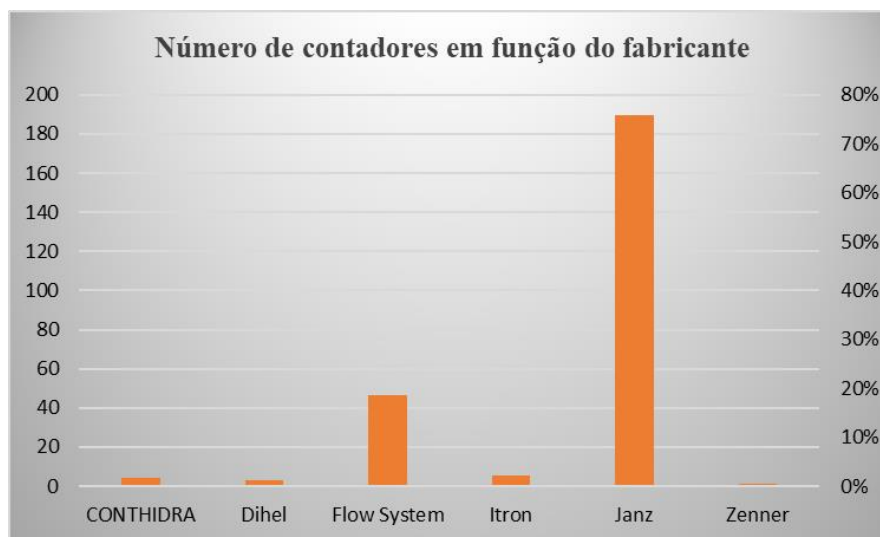


Figura 50. Número de contadores por fabricante (adaptado de EMAS-GIGGO, 2020)

#### 4.1.2. Laboratório de ensaios

Os ensaios dos contadores ocorreram no laboratório de contadores dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada (SMAS de Almada). Os SMAS de Almada são qualificados como reparadores de contadores de água e estão habilitados a efetuar a primeira verificação após reparação de contadores desde o DN 15mm até ao DN 25mm.

Este laboratório é composto por quatro bancadas de ensaio, duas dedicadas aos ensaios de estanquidade (Figura 51) e duas dedicadas aos ensaios de verificação dos erros de medição (Figura 52). Uma das bancadas de ensaios de estanquidade permite testar apenas um contador (a)) e a outra bancada, consoante o diâmetro dos contadores a testar, pode comportar até sete contadores (b)).



a)



b)

Figura 51. a) Bancada de ensaio de estanquidade 1; b) Bancada de ensaio de estanquidade 2

As bancadas para a verificação dos erros de medição estão divididas em duas bancadas com a totalidade de três linhas de ensaios:

- Bancada um – É composta por duas linhas de ensaio para os caudais lentos ou baixos caudais ( $Q_1$  e  $Q_2$ );
- Bancada dois – É composta por uma linha de ensaio para os chamados caudais rápidos ou caudais médios-altos ( $Q_3$  e  $Q_4$ ).

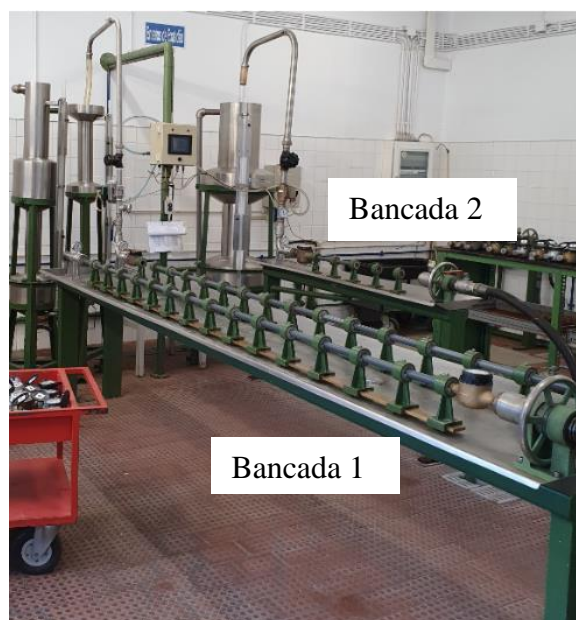


Figura 52. Bancadas de ensaio para erros de medição de contadores dos SMAS de Almada

#### 4.1.2.1. Descrição do laboratório

As bancadas de ensaio 1 (Figura 53 a)) e 2 (Figura 53 b)) consoante os diâmetros dos contadores a ensaiar, permitem colocar em série, respetivamente, até 30 e até cinco contadores para que o caudal que passe entre os diversos contadores seja o mesmo.

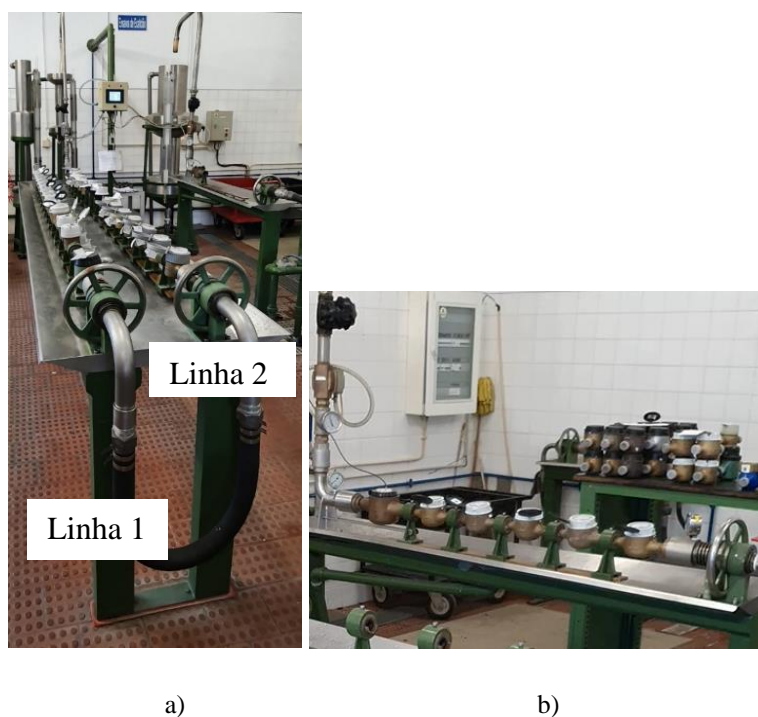


Figura 53.a) Bancada de ensaio para os baixos caudais; b) Bancada de ensaio para os caudais médios-altos dos SMAS de Almada

O laboratório é equipado com dois reservatórios (Figura 54), um reservatório elevado o qual fornece água à bancada de ensaio um e um reservatório subterrâneo que recolhe a água proveniente dos ensaios e volta a fornecer essa mesma água para a bancada de ensaio dois através de elevação por bombagem.

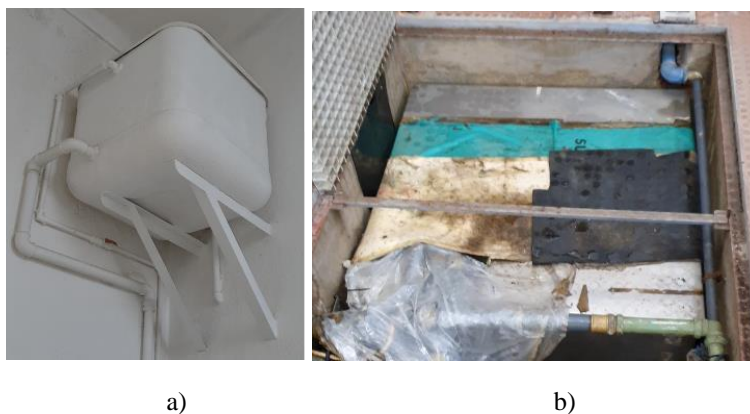


Figura 54. a) Reservatório elevado com capacidade para 100L; b) Reservatório subterrâneo com capacidade para 500L

As bancadas de ensaio estão equipadas por dois manómetros de pressão (Figura 55 a) e b)) que têm como função medir a pressão da água a montante da bancada de ensaio (a) e a jusante da mesma (b), de forma a contabilizar a perda de carga média provocada pelos contadores em teste. Ambas as bancadas de ensaio estão equipadas com um termómetro (Figura 55 c)) cujo objetivo é medir a temperatura da água a que se realiza o ensaio. Os ensaios para contadores de água potável fria devem ser realizados a temperaturas compreendidas entre os 0,1 e os 30 ° C e a variação da temperatura no decorrer do ensaio não pode ser superior a 5° C (NP ISO 4064-2, 2020).

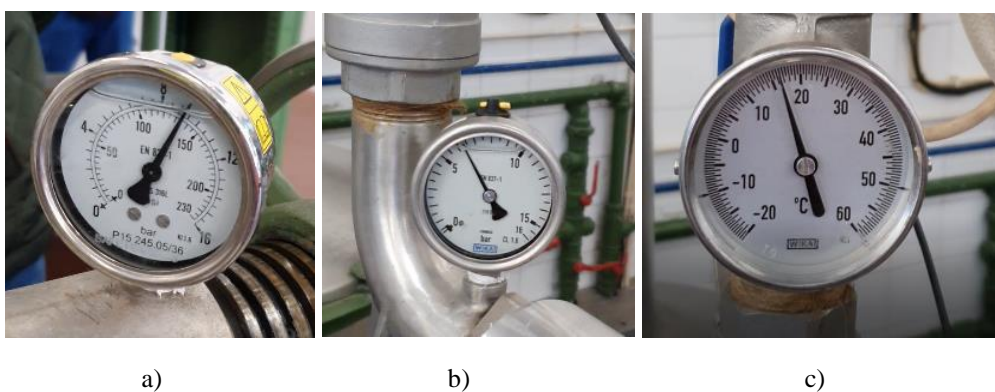


Figura 55. a) Medidor de pressão a montante da linha de ensaio na bancada 2; b) Medidor de pressão a jusante da mesma linha; c) Medidor de temperatura da água

As bancadas de ensaio estão equipadas a jusante das bancadas de um contador de referência (Figura 56 a)) o qual através de um cabo emissor de impulso envia os dados do caudal para a unidade de comando (Indicador Automático de Caudal (IAC)) (Figura 56 b)) de forma a

verificar o caudal instantâneo de ensaio. O IAC é a unidade de comando da bancada de ensaio, este tem como função definir o caudal instantâneo a que se realiza o ensaio, o tempo de execução do ensaio, o volume total a ensaiar e envia a ordem de comando à electroválvula para concluir o ensaio.



a)

b)

Figura 56. a) Contador de referência; b) IAC

As bancadas estão equipadas com uma electroválvula (Figura 57 a)) que suspende a passagem de água e termina o ensaio quando recebe a ordem de comando para esse efeito, essa ordem de comando é emitida pelo IAC quando se atinge o volume de ensaio parametrizado no mesmo. Ambas as bancadas são munidas de um volante de encosto inserido na cabeça de fecho que permite o ajuste dos contadores nas linhas de ensaio (Figura 57 b)).



a)

b)

Figura 57. a) Electroválvula; b) Volante de ajuste dos contadores na linha de ensaio

As bancadas são munidas de um recipiente de volume graduado (RVG) (Figura 58 a) e b)) sujeito a calibração periódica, este recipiente é utilizado para medir os volumes passados pelos contadores de forma a determinar o volume que serve de referência para a determinação dos erros de medição. Um dos principais componentes do RVG é a escala de leitura de volume passado (Figura 58 c)) a qual tem como função indicar visualmente o volume de água que está no interior do mesmo, sendo que esta água vai servir de referência para a determinação dos erros de medição dos contadores.

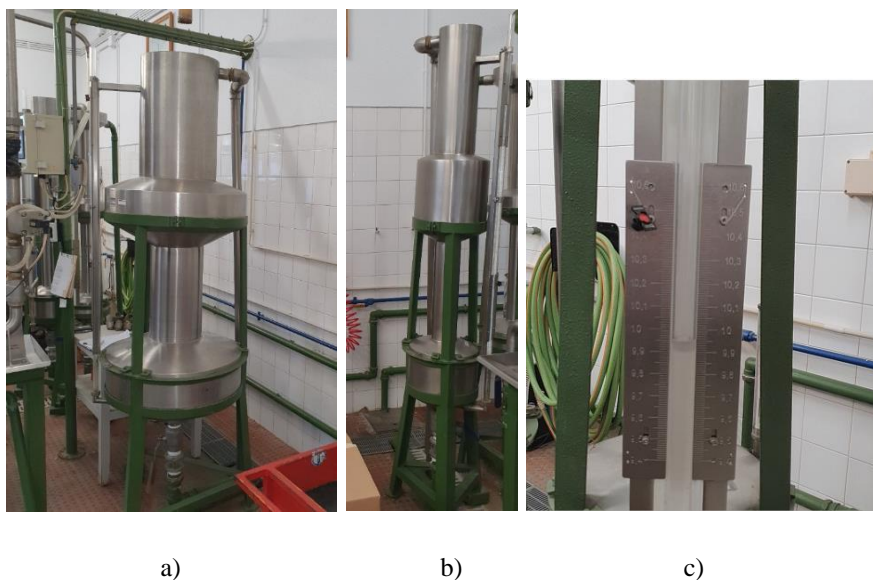


Figura 58. a) RVG de 200l; b) RVG de 20l; c) Escala de controlo de caudais

#### 4.1.2.2. Procedimentos de ensaio

Todos os contadores têm uma curva de erro característica, única. Para estabelecer esta curva é necessário submeter os contadores a ensaios em bancada hidráulica com caudal permanente. O procedimento de ensaio adotado obedeceu à seguinte sequência de trabalhos:

- I. Seleção, recolha e transporte da amostra de contadores que serviu de base ao estudo. Esta recolha e acondicionamento para transporte dos contadores foi efetuada sempre com o máximo de cuidado, sendo as extremidades dos contadores foram obturadas de forma a manter a câmara volumétrica húmida;
- II. Os contadores uma vez no laboratório dos SMAS de Almada, foram separados por calibre e consoante as suas características metrológicas. Após esta separação foram

definidos os caudais de ensaio, nomeadamente  $Q_1$ ,  $Q_2$ , 60l/h, 120l/h,  $Q_3$  e  $Q_4$ . Os caudais de 60 e 120l/h não são caudais característicos dos contadores nem previstos nas normas de ensaio (NP EN ISO 4064-2:2018 ou NP 2938:2008). Contudo optou-se pelo ensaio dos mesmos pois verifica-se serem estes os caudais com maior percentagem do consumo por parte dos clientes domésticos na rede de distribuição de água de Beja. De acordo com o ponto 7.4.4 da NP EN ISO 4064-2:2018 os caudais de ensaio devem estar contidos entre os seguintes intervalos:

1.  $1,10 \times Q_1$  a  $Q_1$ ;
2.  $1,10 \times Q_2$  a  $Q_2$ ;
3.  $0,9 \times Q_3$  a  $Q_3$ ;
4.  $0,9 \times Q_4$  a  $Q_4$ .

Em seguida, procedeu-se à colocação de códigos de barras nas tampas dos contadores, bem como ao registo das suas características na base de dados dos DMAS de Almada. Posteriormente, os contadores foram montados em serie na bancada de ensaio para testes aos caudais rápidos e introduzidos no IAC o volume nominal que se pretende para o ensaio (100L). Antes do início do ensaio enchem-se as linhas onde estão os contadores com água pressurizada ao maior caudal possível para a total remoção do ar contido no interior dos contadores e da instalação. Após a verificação da não existência de ar na linha de ensaio inspecionam-se os contadores para detetar-se eventuais fugas entre os contadores ou nas câmaras dos mesmos. Finda esta verificação desliga-se a bomba pressurizadora, fecha-se a válvula de forma a suspender a passagem de água e abre-se a descarga de fundo do RVG para que este fique sem água no seu interior. O volume do RVG para estes ensaios é de 200 litros e o seu tempo de escoamento do RVG é de 60 s. Por fim, regista-se a leitura inicial ( $L_i$ ) dos contadores e a temperatura inicial da água no sistema informático de gestão do laboratório (SIMOVLAB).

- III. Inicia-se o ensaio aos caudais rápidos com a parametrização do caudal de ensaio que se pretende ensaiar (Tabela 10) no IAC. No fim do ensaio, regista-se a leitura final ( $L_f$ ) dos contadores, a temperatura final da água, o tempo de duração do ensaio em segundos e o volume de água passado (VR) no sistema e registado na escala de controlo de caudais do RVG.

Após a recolha destes dados o ensaio está concluído, retirando-se os contadores da bancada de ensaio aos caudais rápidos, e passando-os imediatamente para a bancada de ensaio aos baixos caudais ( $Q_1$ ,  $Q_2$ , 60 e 120l/h).

- IV. O ensaio aos baixos caudais é muito similar ao ensaio aos caudais rápidos. Contudo, no ensaio aos baixos caudais, a água a ser fornecida à bancada de ensaio é pressurizada grafiticamente através de um reservatório elevado, o volume do RVG é de 20 litros e o volume nominal que se pretende para o ensaio é de 10 litros. Os valores dos caudais de ensaio variam consoante o ensaio que se pretende (Tabela 10).

Tabela 10. Intervalo dos caudais de ensaio (L/h) para contador R200

Q3	Q4	Q2	Q1
2500	3125	20	12,5
2250	2812,5	22	13,75

Embora o SIMOVLAB efetue automaticamente os cálculos do volume escoado por cada contador ( $V_i = L_f - L_i$ ) e do erro relativo de medição ( $\mathcal{E}$ ), entendeu-se que por se tratar de um trabalho académico não se deveriam utilizar estes resultados. Assim, o valor do  $V_i$  e dos erros relativos e absolutos foram calculados com o apoio de uma folha de cálculo.

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com os procedimentos de ensaio descritos em 4.1.2.2 determinou-se o comportamento metrológico dos contadores de água em regime permanente em função dos caudais de ensaio. Os contadores de água quando submetidos a ensaios de medição aos diversos caudais apresentam um erro associado a esses caudais. Em seguida serão demonstrados graficamente os erros de medição dos contadores de água para diversos caudais, em função da sua idade cronológica e da sua idade volumétrica.

### 5.1. Análise com base na idade cronológica dos contadores

No presente estudo, dos 235 contadores em análise apenas foi possível realizar os ensaios de medição a 212 contadores, uma vez que os restantes 23 contadores apresentavam vários tipos de deficiências (invólucro do contador com poros, visor do contador partido, contadores totalmente parados, *etc.*), que não permitiram a sua colocação nas bancadas de ensaio para a realização dos mesmos. Os contadores a analisar foram distribuídos por cinco intervalos de idades (Tabela 11).

Tabela 11. Separação dos contadores ensaiados por intervalo da idade cronológica

Idade cronológica (anos)	Dimensão da amostra (quantidade)	Contadores parados (quantidade)	Contadores parados (%)
[0;5[	70	2	3%
[6;11[	57	4	7%
[12;15[	39	2	5%
[16;20[	34	2	6%
[> 21[	12	4	33%

Para efeitos de ensaio não foi efetuada uma distinção entre os contadores de DN 15 e 20mm, uma vez que, metrologicamente não existe diferenças entre os contadores de DN 20mm em estudo e os contadores de DN15mm. A diferença entre estes reside apenas no diâmetro o que não tem influência para efeitos de ensaios de medição, ou seja, a câmara volumétrica do contador de DN 15mm é inserida no interior do corpo (invólucro) de um contador de DN 20mm de forma a compatibilizar o diâmetro do contador com o diâmetro da instalação predial onde este contador será instalado.

Nos contadores até cinco anos (Figura 59) verifica-se que os erros máximos admissíveis (EMA) previstos para os caudais de ensaio  $Q_1$  ( $12,5\text{dm}^3/\text{h}$ ),  $Q_2$  ( $20\text{dm}^3/\text{h}$ ) e  $Q_3$  ( $2500\text{dm}^3/\text{h}$ ) estão de acordo com os valores preconizados pela NP EN ISO 4064-2:2018. A escala vertical dos gráficos abaixo apresentados mantém-se com o mesmo intervalo para facilidade de comparação entre os diferentes intervalos de idade cronológica.

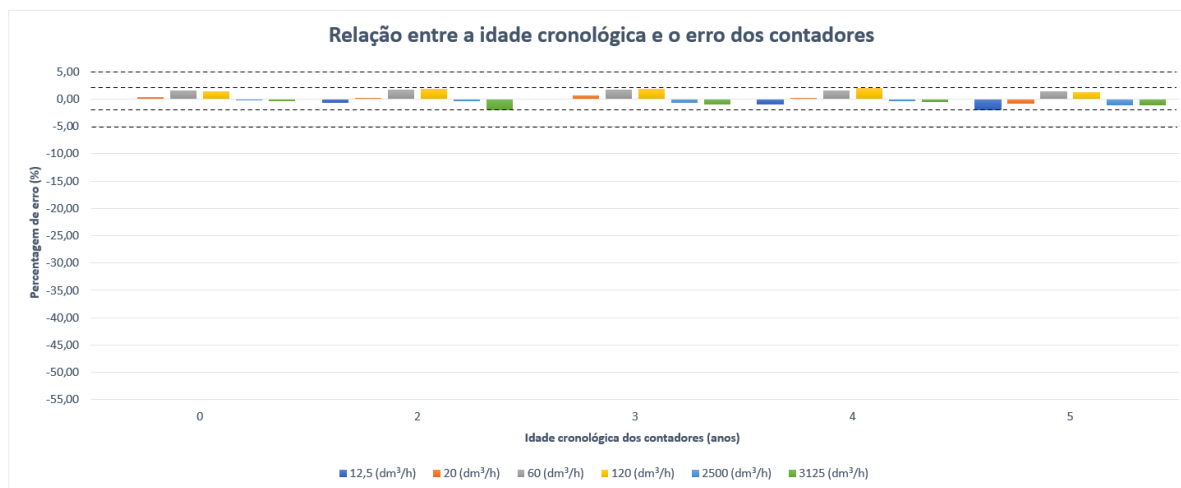


Figura 59. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos zero aos cinco anos

No intervalo de idade dos seis aos 11 anos (Figura 60) verifica-se que os erros de medição dos contadores em estudo são na sua maioria inferiores aos EMA, com a exceção do erro medição detetado no ensaio ao caudal de  $Q_3$  ( $2500\text{dm}^3/\text{h}$ ), o qual é superior aos  $\pm 2\%$  preconizados na legislação vigente. Empiricamente este erro é extremamente importante uma vez que se trata do caudal permanente do contador ( $Q_3$ ). Embora os ensaios de medição aos restantes caudais cumpram com o valor do EMA preconizado na legislação vigente, verifica-se que existe um ligeiro aumento nos erros de medição neste intervalo de idade face aos erros de medição verificados no intervalo de idade dos zero aos cinco anos.

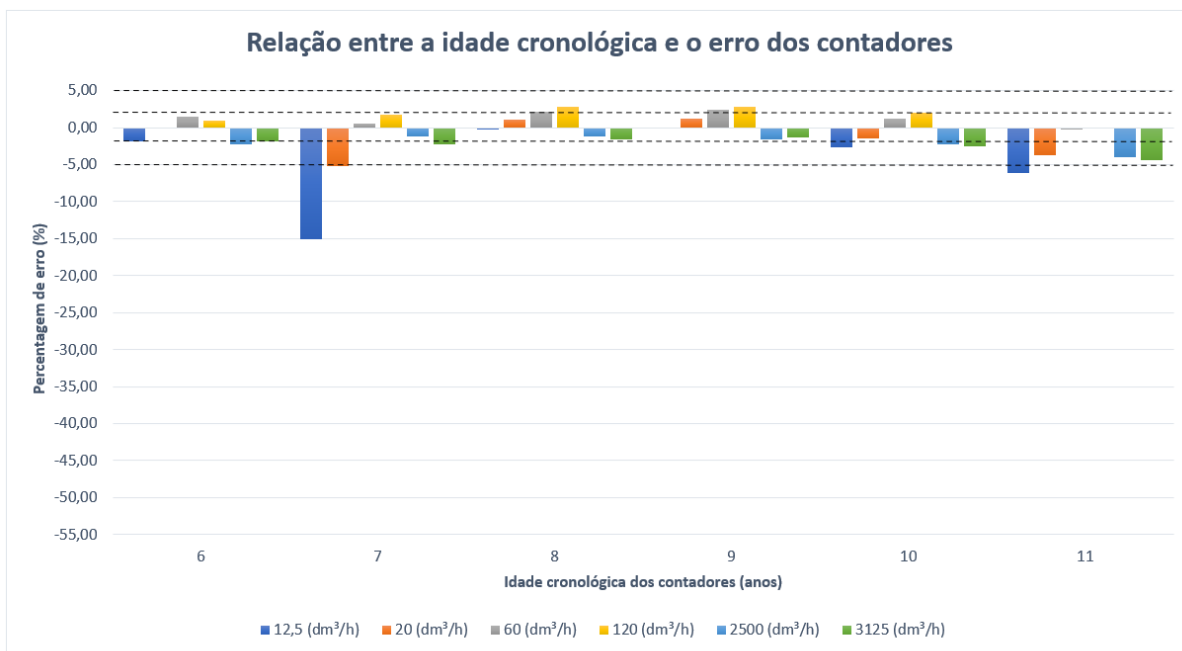


Figura 60. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos seis aos 11 anos

Na Figura 61 representam-se os erros de medição dos contadores cujo intervalo de idade varia entre os 12 e os 15 anos. Neste intervalo de idades os erros de medição dos contadores analisados aumentaram substancialmente, chegando a ultrapassar os EMA na totalidade dos caudais de ensaio. Neste intervalo de idade verifica-se que o aumento significativo dos erros de medição inicia-se nos contadores com 12 anos de idade.

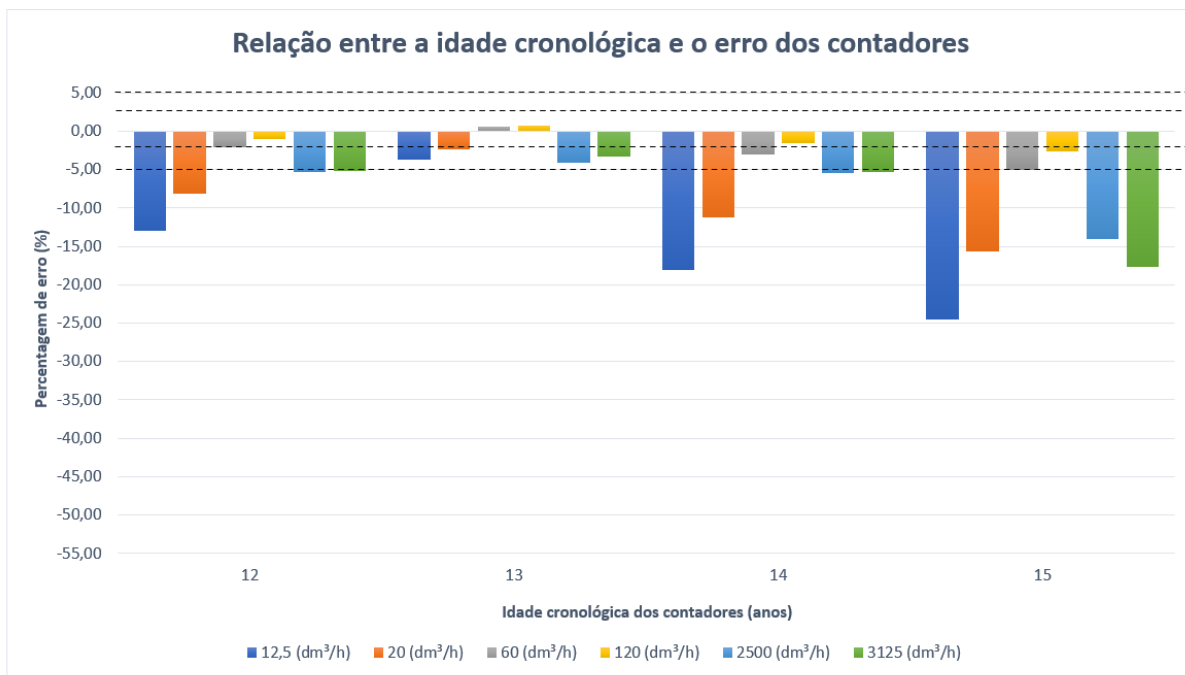


Figura 61. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos 12 aos 15 anos

Na Figura 62 representam-se os erros de medição dos contadores cujo intervalo de idade varia entre os 16 e os 20 anos. Neste intervalo de idades verifica-se a existência de erros de medição superiores aos EMA aos caudais de ensaio em  $Q_1$  (12,5dm³/h) e  $Q_2$  (dm³/h). No intervalo de idade em análise nota-se um ligeiro aumento nos erros de medição face ao anterior intervalo de idade (12 aos 15 anos) analisado.

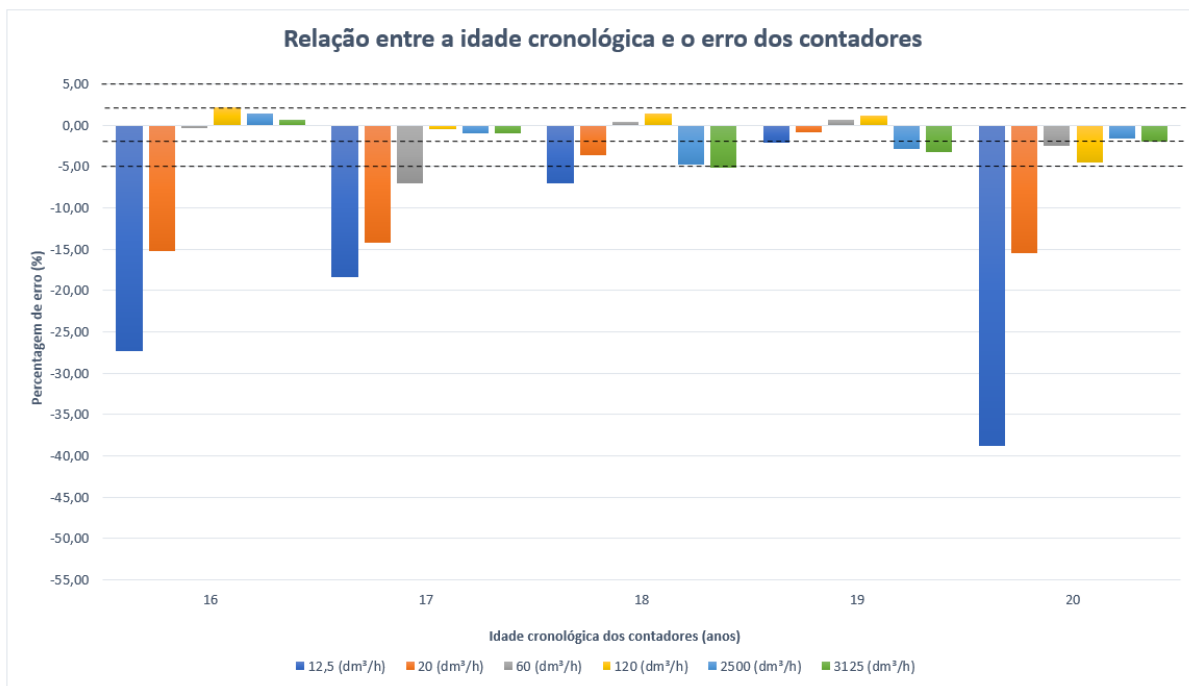


Figura 62. Análise aos erros de medição no intervalo de idades dos 16 aos 20 anos

Na Figura 63 representam-se os erros de medição dos contadores cuja idade é superior a 21 anos. Face ao anterior intervalo de idade analisado (16 a 20 anos) verifica-se que existe um ligeiro aumento dos erros de medição, sendo que este aumento ocorre desde os caudais de ensaio de 60dm³/h até ao Q<sub>4</sub> (3125dm³/h). Empiricamente esperar-se-ia que este aumento dos erros de medição se manifestasse em todos os caudais de ensaio, o que não ocorreu. Esta fato poderá estar relacionado com o baixo número (12) da amostra analisada.

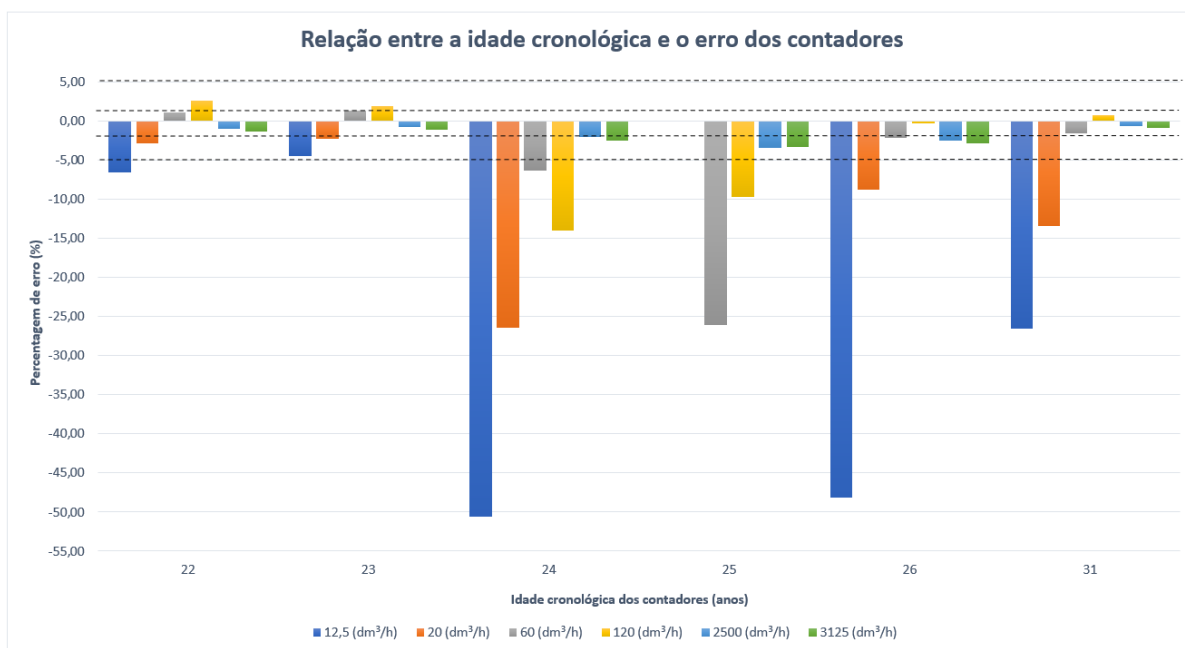


Figura 63. Análise aos erros de medição em contadores com idade superior a 21 anos

A Figura 64 representa o resumo dos erros de medição médios face aos intervalos de idade ensaiados, bem como, o erro médio ponderado face aos caudais de ensaio. Como se pode verificar, nos contadores até aos cinco anos e no intervalo entre os seis e os 11 anos, existe um equilíbrio entre os erros negativos (-5 a 0) e os erros positivos (0 a 5). Quando se ultrapassa a idade dos 12 anos este equilíbrio desaparece e todos os erros passam a ser negativos. Estes erros, além de serem negativos são na sua maioria superiores aos EMA preconizados na legislação vigente. Da análise à Figura 64 constata-se também que com a idade do contador o valor do erro aumenta. Este aumento ocorre de forma abrupta a partir dos 11 anos de idade do contador, verificando-se que os valores dos EMA em contadores com idade superiores a 11 anos são ultrapassados em praticamente todos os caudais de ensaio previstos na legislação vigente. Deste modo, esta análise vem corroborar as indicações impostas pela legislação em vigor, a qual, determina que contadores com consumo  $\leq 4\text{m}^3/\text{h}$  (contadores domésticos) devem ser alvo de verificação periódica de 12 em 12 anos. Esta análise, também permite verificar que quanto mais baixo é o caudal de ensaio maior é o erro de medição (negativo).

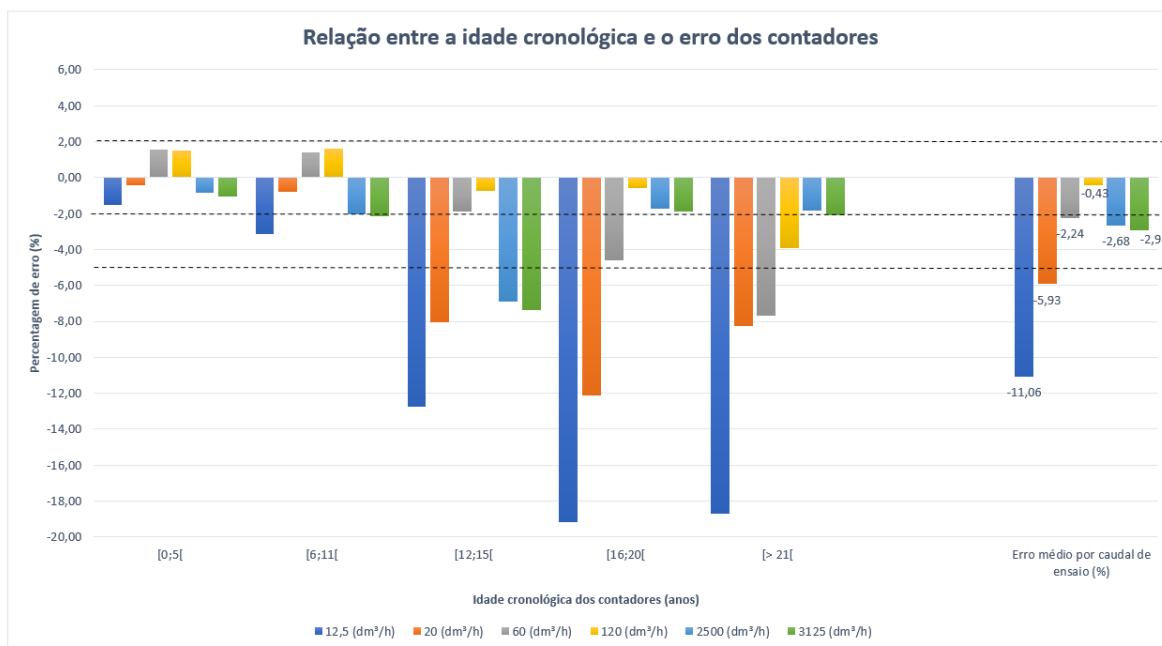


Figura 64. Resumo dos erros de medição face à idade cronológica dos contadores

De forma a simplificar a visualização da informação elencada nos gráficos anteriores, explana-se na Tabela 12 o resumo dos erros médios ponderados para os caudais de ensaio e os erros médios ponderados dos contadores para os diversos intervalos de idade. Nesta tabela, com a cor rosa estão representados os erros de medição que ultrapassam os EMA preconizados na legislação vigente e com a cor verde os erros de medição que ultrapassam os EMA considerados pelo autor em função da sua experiência profissional.

Tabela 12. Tabela resumo dos erros médios ponderados totais

Idade cronológica (anos)	Caudais de ensaio (dm³/h)						Erro médio por intervalo de idade (%)
	12,5	20	60	120	2500	3125	
[0;5[	-1,53	-0,44	1,53	1,50	-0,87	-1,04	-0,14
[6;11[	-3,14	-0,81	1,39	1,61	-2,07	-2,13	-0,86
[12;15[	-12,76	-8,04	-1,88	-0,75	-6,90	-7,38	-6,28
[16;20[	-19,17	-12,14	-4,60	-0,59	-1,71	-1,90	-6,69
[> 21[	-18,71	-8,25	-7,67	-3,91	-1,86	-2,09	-7,08
Erro médio por caudal de ensaio (%)	-11,06	-5,93	-2,24	-0,43	-2,68	-2,91	-4,21

## 5.2. Análise com base no volume acumulado nos contadores (idade volumétrica)

Os contadores a analisar foram distribuídos com base na sua idade volumétrica, desta forma, definiram-se quatro intervalos de consumo (Tabela 13).

Tabela 13. Separação dos contadores ensaiados por intervalo da idade volumétrica

Idade cronológica (anos)	Dimensão da amostra (quantidade)	Contadores parados (quantidade)	Contadores parados (%)
[0;5[	104	5	5%
[6;10[	80	7	9%
[11;15[	24	2	8%
[16;20[	4	0	0%

Até aos cinco m<sup>3</sup>/mês (Figura 65) verifica-se que os EMA previstos na legislação vigente só são superados nos contadores cujo consumo médio mensal é superior a 3,0m<sup>3</sup>. Os erros de medição aumentam de forma significativa nos caudais de Q<sub>1</sub> (12,5dm<sup>3</sup>/h) e Q<sub>2</sub> (20dm<sup>3</sup>/h).

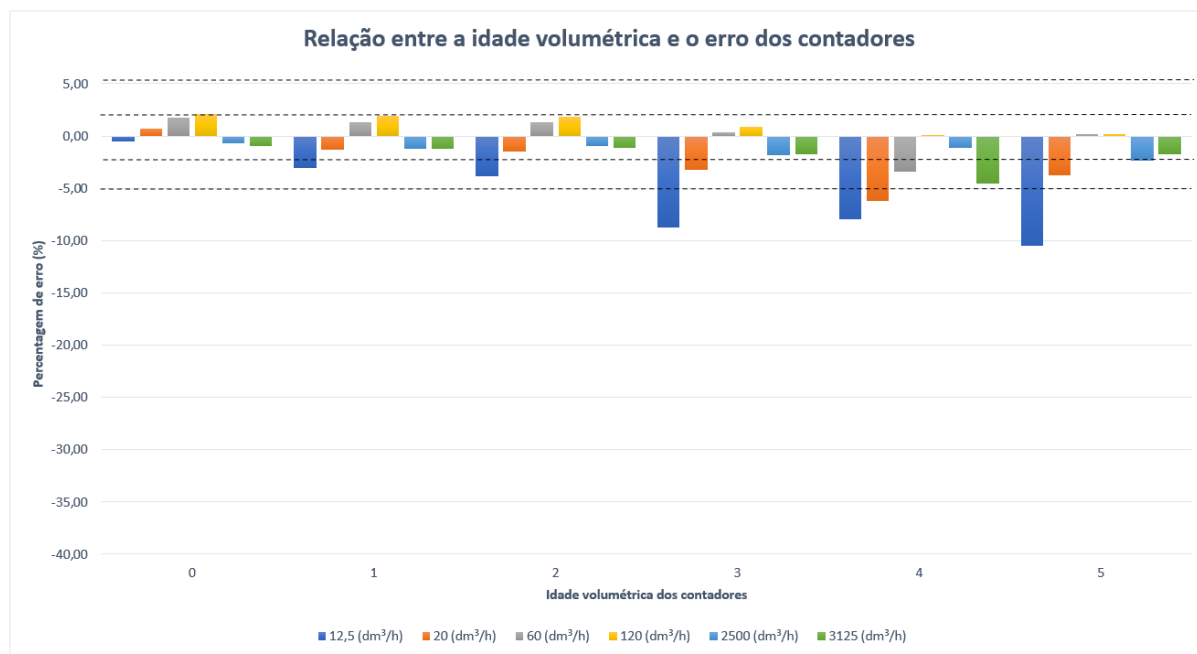


Figura 65. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos zero aos cinco anos

No intervalo de medição dos 6 aos 10m<sup>3</sup>/mês (Figura 66) verifica-se que os erros de medição dos contadores em estudo são na sua maioria superiores aos EMA, com a exceção dos erros de

medição verificados nos contadores cujo consumo médio mensal é de 6m<sup>3</sup>. Neste intervalo de medição verifica-se que existe um aumento significativo nos erros de medição face aos erros de medição verificados no intervalo de medição dos 0 aos 5m<sup>3</sup>/mês.

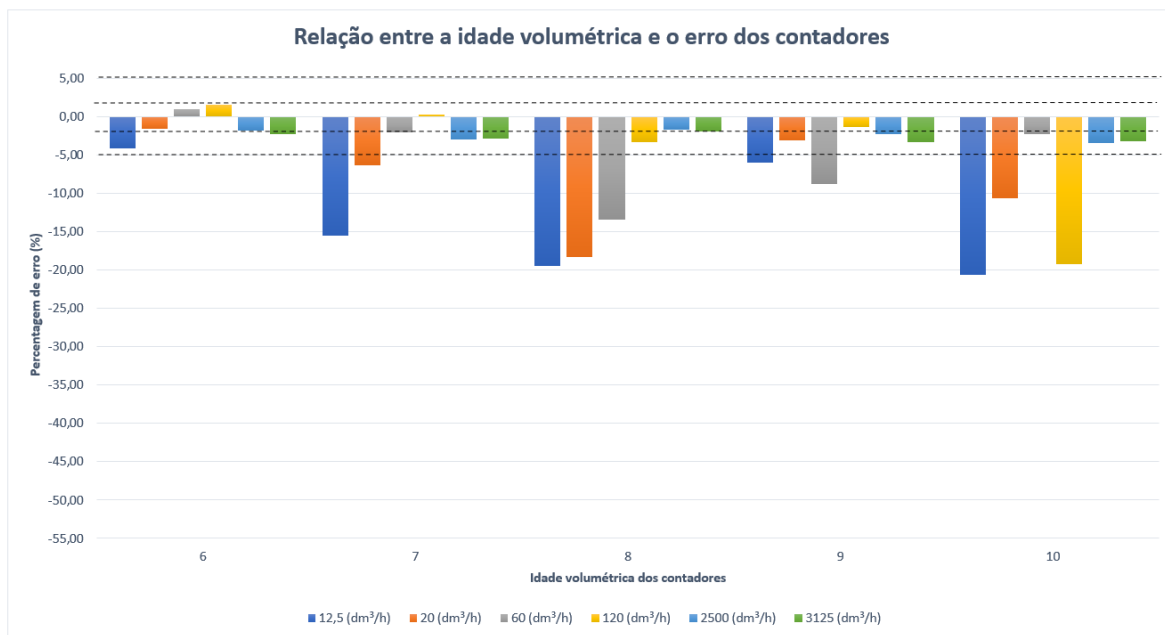


Figura 66. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos seis aos 10 anos

No intervalo de medição dos 11 aos 15m<sup>3</sup>/mês (Figura 67) verifica-se que ao caudal de ensaio de Q<sub>3</sub> (2500dm<sup>3</sup>/h) todos os erros de medição verificados excedem os EMA previstos na legislação vigente, no entanto, neste intervalo de medição verifica-se que existe uma ligeira diminuição dos erros de medição face aos erros de medição verificados no intervalo de medição dos 6 aos 10m<sup>3</sup>/mês.



Figura 67. Análise aos erros de medição no intervalo de medição dos 11 aos 15 anos

No intervalo de medição dos 16 aos 20m³/mês (Figura 68) verifica-se que ao caudal de ensaio a Q<sub>3</sub> (2500dm³/h) todos os erros de medição verificados excedem os EMA previstos na legislação vigente. No entanto, neste intervalo de medição verifica-se que existe uma diminuição abrupta dos erros de medição face aos erros de medição verificados no intervalo de medição dos 11 aos 15m³/mês. O valor dos erros de medição detetados neste intervalo de medição são semelhantes, no que se refere à sua ordem de grandeza, aos valores dos erros de medição detetados no intervalo de medição dos 0 aos 5m³/mês.

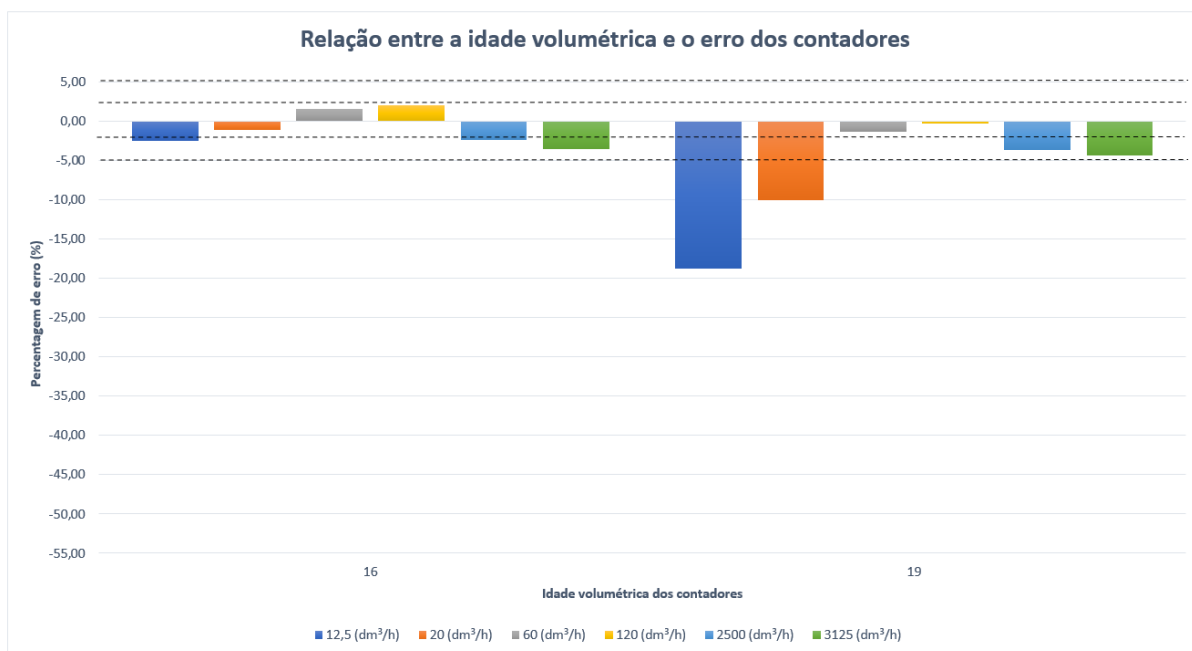


Figura 68. Resumo dos erros de medição face à idade volumétrica dos contadores

A Figura 69 representa o resumo dos erros de medição médios face aos intervalos do volume médio mensal ensaiados, bem como, o erro médio ponderado face aos caudais de ensaio. Como se pode verificar apenas se detetaram erros positivos nos intervalos de volume dos zero aos seis m³/mês e no intervalo de volume dos 16 aos 20m³/mês.

Nesta análise aos erros de medição tendo por base a idade volumétrica dos contadores não se vislumbra um padrão comportamental nos erros de medição detetados nos ensaios, ao contrário do que sucede com os erros de medição detetados nos ensaios que tiveram por base a idade cronológica dos contadores, os quais à medida que a idade cronológica do contador aumenta o erro de medição também aumenta.

Esta análise, também permite verificar que quanto mais baixo é o caudal de ensaio maior é o erro de medição (negativo), o que concerne com os resultados obtidos nos ensaios com base na idade cronológica dos contadores.

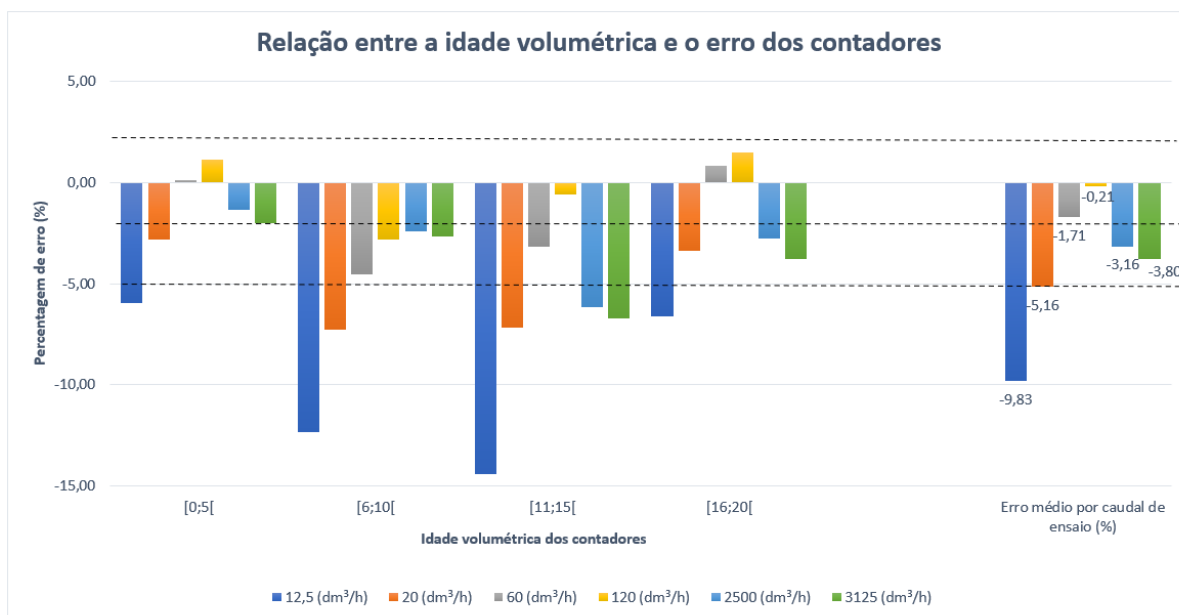


Figura 69. Resumo dos erros de medição face à idade volumétrica dos contadores

Os ensaios aos erros de medição tendo como por base os volumes médios mensais demonstram que os erros de medição aos diversos caudais de ensaios são superiores na sua maioria aos EMA previstos na legislação vigente.

Na Tabela 14, com a cor rosa estão representados os erros de medição que ultrapassam os EMA preconizados na legislação vigente e com a cor verde os erros de medição que ultrapassam os EMA considerados pelo autor em função da sua experiência profissional.

Tabela 14. Tabela resumo dos erros médios ponderados totais

Idade volumétrica	Caudais de ensaio (dm³/h)						Erro médio por intervalo de volume (%)
	12,5	20	60	120	2500	3125	
[0;5[	-5,96	-2,82	0,09	1,14	-1,35	-2,02	-1,82
[6;10[	-12,32	-7,29	-4,54	-2,83	-2,41	-2,69	-5,35
[11;15[	-14,40	-7,16	-3,20	-0,58	-6,15	-6,73	-6,37
[16;20[	-6,63	-3,38	0,81	1,45	-2,75	-3,79	-2,38
Erro médio por caudal de ensaio (%)	-9,83	-5,16	-1,71	-0,21	-3,16	-3,80	-3,98

### 5.3. Perda comercial associada ao erro de medição dos contadores

Recorrendo-se ao sistema de telemetria instalado na ZMC-ZB5 (Figura 46), foi possível compreender os perfis de consumo dos consumidores desta ZMC através da análise dos consumos durante o mês de março (Tabela 15). Desta análise concluiu-se que 70% dos consumos domésticos (da ZB5) se processam na faixa entre os 20 e os 200dm<sup>3</sup>/h e que na faixa entre os 0 e os 20dm<sup>3</sup>/h processa-se cerca de 21% do consumo, sendo que os restantes 19% encontram-se na faixa entre os 200 e os 1000dm<sup>3</sup>/h.

Esta análise é extremamente importante, uma vez que permite verificar que os erros de medição detetados nos ensaios aos 60 e aos 120dm<sup>3</sup>/h tem um peso bastante significativo na qualidade da medição e da faturação na EG, embora os mesmos não estejam contemplados na legislação vigente.

Tabela 15. Perfis de consumo dos consumidores da ZMC-ZB5

Intervalos de consumo (dm <sup>3</sup> /h)	Volume mensal			Erro de exatidão do contador (%)	Perda mensal (m <sup>3</sup> )
	(dm <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(%)		
≤ 12,5	194947	194,95	11,8%	-11,33%	-22,09
>13 e ≤20	156411	156,41	9,5%	-5,93%	-9,28
>20 e ≤200	1160417	1160,4	70,2%	-2,87%	-33,30
>200 e ≤500	105366	105,37	6,4%	-2,87%	-3,02
>500 e ≤1000	35528	35,528	2,1%	-2,87%	-1,02

Com base nos dados presentes na Tabela 15 efetuou-se um estudo económico (Tabela 16) de forma a contabilizar a perda comercial que a EMAS de Beja estaria a ser alvo nesta ZMC em específico.

Tabela 16. Estudo económico para a ZMC-ZB5 com vista a estimar a perda total mensal

Componente variável										Componente fixa				Perda total mensal (€)
AA		AR	RSU			TRH				AA	AR	TDRS	Perda	
Consumo (m³)	Perda (€)	Perda (€)	Preço por (m³)	TGR (€)	Perda (€)	AA (€)	AR (€)			(€)	(€)	(€)	(€)	
22,09	29,69	26,94	0,61	1,01	13,54	0,02	0,40	0,02	0,38	0,11	0,13	0,75	0,99	71,93
9,28	8,35	7,33	0,61	0,42	2,39	0,02	0,17	0,02	0,16	0,11	0,13	0,75	0,99	19,39
33,30	61,75	57,81	0,61	1,52	30,78	0,02	0,60	0,02	0,57	0,11	0,13	0,75	0,99	152,49
3,02	1,12	0,76	0,61	0,14	0,25	0,02	0,05	0,02	0,05	0,11	0,13	0,75	0,99	3,22
1,02	0,38	0,25	0,61	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,11	0,13	0,75	0,99	1,68
													248,71	

AA - Água de abastecimento; AR - Água Residual; RSU - Resíduos sólidos urbanos; TGR - Taxa de gestão de resíduos;

TRH - Taxa de recursos hídricos; TDRS - Taxa de disponibilidade de Resíduos Sólidos

Atendendo ao estudo económico realizado na ZMC – ZB5 optou-se por realizar também um estudo económico para todo o parque de contadores da EMAS de Beja cujo diâmetro dos contadores seja de 15 e 20mm (Tabela 17). Em virtude de não ser possível estabelecer os perfis de consumo destes consumidores, devido à não existência de um sistema de telemetria que englobe os contadores a analisar, este estudo foi realizado com base nas idades cronológicas dos contadores e com os erros de medição associados às idades cronológicas conforme explanado na Tabela 12.

Com os dados elencados na Tabela 17 o resultado obtido no estudo económico (Tabela 18) revela uma perda comercial mensal em todo o parque de contadores da EMAS de Beja de 21597,94€/mês o que se traduz num *deficit* anual de faturação de 259175,32€.

Tabela 17. Dados para a realização do estudo económico ao parque de contadores da EMAS com DN 15 e 20mm

Idade cronológica (anos)	Dimensão da amostra (unidades)	Volume médio mensal (m³)	Erro médio por intervalo de idade (%)	Volume mensal não medido (m³)	Volume mensal não medido por consumidor (m³)
[0;5[	4663	33332,00	-0,14	-46,59	-0,01
[6;11[	8950	53249,00	-0,86	-456,83	-0,05
[12;15[	2928	18152,00	-6,28	-1140,78	-0,39
[16;20[	2595	14567,00	-6,69	-973,82	-0,38
> 21[	793	3779,00	-7,08	-267,57	-0,34
<b>Total</b>				<b>-2885,58</b>	

Tabela 18. Estudo económico ao parque de contadores da EMAS de Beja com vista a estimar a perda total mensal

Numero de consumidores	Componente variável							Componente fixa				Perda mensal por cliente (€)	Perda total mensal (€)			
	AA		AR	RSU			TRH		AA (€)	AR (€)	TDRS (€)			Perda (€)		
	Consumo (m³)	Perda (€)	Perda (€)	Preço por (m³)	TGR (€)	Perda (€)	AA (€)	AR (€)								
4663	0,010	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,11	0,13	0,75	0,99	0,99	4634,80
8950	0,050	0,02	0,01	0,61	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,11	0,13	0,75	0,99	1,02	9130,96
2928	0,390	0,14	0,10	0,61	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,11	0,13	0,75	0,99	1,25	3651,43
2595	0,380	0,14	0,10	0,61	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,11	0,13	0,75	0,99	1,24	3218,60
793	0,340	0,13	0,09	0,61	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,11	0,13	0,75	0,99	1,21	962,15
															5,71	21 597,94

AA - Água de abastecimento; AR - Água Residual; RSU - Resíduos sólidos urbanos; TGR - Taxa de gestão de resíduos; TRH - Taxa de recursos hídricos; TDRS - Taxa de disponibilidade de Resíduos Sólidos

Na elaboração do estudo económico optou-se também por efetuar a comparação dos consumos dos contadores antes e após a substituição destes por contadores novos. Para este efeito, levou-se em consideração as leituras dos últimos três meses dos anos de 2019 e 2020. De referir que dos 235 contadores analisados apenas foi possível efetuar uma comparação com base nos consumos de 219 contadores. Desta análise verifica-se que após a substituição dos contadores, os contadores novos registaram um acréscimo de consumo de 3,4% (Figura 70).

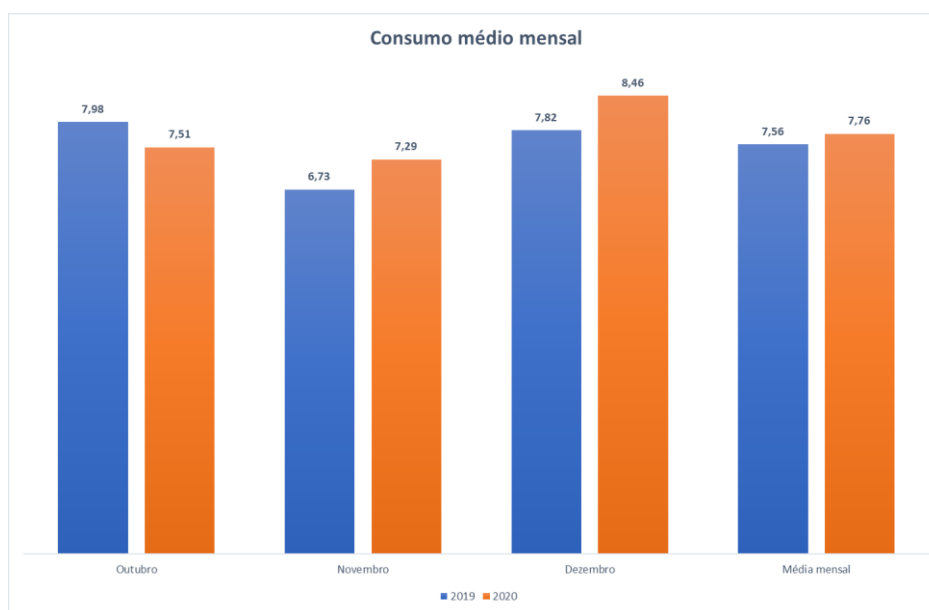


Figura 70. Comparação dos consumos no ano de 2019 e 2020

Esta perda comercial não só tem um peso importante no balanço hídrico da EG como também na própria faturação da mesma, visto esta água não ser faturada ao consumidor, e ter como agravante o fato de a mesma ser faturada à EG em baixa pela EG em alta.

## 6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O controlo da ANF é fundamental para a sustentabilidade das EG, sendo que uma percentagem significativa desta advém das perdas aparentes. No âmbito das perdas aparentes, um dos fatores que mais influência tem sobre este campo são os erros de medição dos contadores de água. Os erros de medição são de extrema importância quer para as EG quer para os seus consumidores, uma vez que estes quando são erros positivos (sobrecontagem) penalizam o consumidor e quando são erros negativos (subcontagem) penalizam as EG. De forma a minimizar o impacto destes erros é fundamental ter um conhecimento aprofundado do parque de contadores da EG, nomeadamente no que se refere à idade, diâmetros e caudais.

Através desta dissertação realizou-se um estudo sobre a temática das perdas aparentes, com principal enfoque nos erros de medição dos contadores de água domésticos, também vulgarmente conhecidos como contadores residenciais. Os contadores utilizados neste estudo são provenientes da rede pública de águas de Beja, cuja entidade gestora é a EMAS de Beja e foram submetidos a ensaios de medição no laboratório de contadores dos SMAS de Almada. Constata-se que quanto maior for a idade de um contador de água maior será o seu erro de medição, uma vez que este vai perdendo precisão à medida que vai envelhecendo. A partir dos 11 anos de idade os erros de medição aumentam substancialmente, o que poderá ser entendido como uma referência para a análise/substituição do parque de contadores. Verifica-se que quanto mais baixo é o caudal que atravessa esse contador maior será o seu erro de medição, e que quando o contador é submetido a caudais bastante elevados o seu erro de medição também aumenta. Desta forma pode-se afirmar que um correto dimensionamento dos contadores de água face ao caudal de serviço é fundamental para reduzir os erros de medição.

Os resultados deste estudo, no que se referem à análise dos contadores com base na sua idade cronológica vão de encontro ao estipulado pela portaria n.º 321/2019 de 19 de setembro. Esta determina que contadores com consumo  $\leq 4\text{m}^3/\text{h}$  (contadores domésticos) devem ser alvo de verificação periódica de 12 em 12 anos, o que está de acordo com o observado neste estudo, nomeadamente o aumento dos erros de medição dos contadores a partir dos 11 anos.

Relativamente aos ensaios com base na idade volumétrica dos contadores, os resultados dos mesmos não se revelaram consistentes, uma vez que, não foi possível estabelecer um padrão comportamental dos erros de medição com o aumento ou com a diminuição do volume médio mensal utilizado pelos contadores. Constatou-se um aumento do erro de medição quando o

consumo passa do intervalo de medição de 0 a 5m<sup>3</sup>/mês para os 6 a 10m<sup>3</sup>/mês. Contudo verificou-se o inverso quando o intervalo de medição passou dos 11 a 15m<sup>3</sup>/mês para os 16 a 20m<sup>3</sup>/mês. Na última classe verifica-se o que parece ser uma inversão de tendência, contudo esta classe não é estatisticamente significativa porque a amostra é muito pequena. A inconsistência destes dados poderá estar relacionada com a muito pequena amostra.

Através do sistema de telemetria instalado na ZMC – ZB5, foi possível conhecer o padrão de consumo durante o mês de março dos consumidores da área correspondente a esta ZMC. Associando os padrões de consumo aos erros de medição aos diversos caudais ensaiados em laboratório foi possível determinar o valor do volume de água não faturada pela EMAS de Beja nesta ZMC, sendo este de 68,7m<sup>3</sup>/mês. Associando este valor às tarifas de água e saneamento com base no tarifário da EMAS de Beja este valor traduz-se numa perda comercial (financeira) mensal de 248,71€ o que perfaz um valor anual de 2.984,49€. De referir que este valor aparentemente baixo está associado ao fato de se estar a analisar uma pequena quantidade de contadores (235).

Em suma, pode-se afirmar que um parque de contadores pouco eficiente tem impactos substancialmente negativos para as EG, sendo a idade média do parque de contadores o principal indicador para aferir a eficiência desse mesmo parque.

Será também de considerar a realização de um estudo idêntico, mas recorrendo-se a uma amostra de contadores de água volumétricos cuja utilização tenha ocorrido em espaços verdes, onde o sistema de rega predominante tenha sido efetuado através de aspersores. Este estudo será importante para aferir os erros de medição em contadores volumétricos que estão sujeitos a um regime de consumo variável e descontínuo, e também a choques hidráulicos durante a vida útil dos mesmos.

De referir que seria uma mais valia desenvolver um estudo semelhante ao efetuado para se obter uma estimativa dos erros de medição de contadores volumétricos tipo Woltmann de diâmetro 50mm, e de contadores ultrassónicos também de diâmetro 50 mm. A opção por contadores de diâmetro 50mm prende-se com o fato de este ser o diâmetro mais utilizado em grandes consumidores na rede de distribuição de água de Beja.

## REFERÊNCIAS

- Alegre, H., Coelho, S., Almeida, M., Vieira, P. (2005). Controlo e medição de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), Instituto da Água e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).
- Al-Washali, T., Mahardani, M., Sharma, S., Arregui F., Kennedy, M. (2020). Impact of float-valves on water meter performance under intermittent and continuous supply conditions. *Resources, Conservation & Recycling*, 163: 1-11.
- Al-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., Al-Nozaily, F., Haidera, M., Kennedy, M. (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation & Recycling*, 152: 1-11.
- APDA, CESDA. (2014). Ficha de Boas Práticas, Eficiência dos Sistemas de Abastecimento. Luís, A., Veiga, A., Duarte, A., Santos, B., Caldas, C., Cardoso, D., Curinha, J., Rodrigues, J., Gomes, L., Almeida, M., Neto, M., Pereira, P., Mendes, R., Casimiro, R., Duarte, R., Parente.
- APDA, Comissão Técnica de Normalização – CT 116. (2013). Guia de Contadores de Água. J., Colarejo, Veiga, A., Almeida, A., Abrantes, A., Carmo, A., Costa, F., Ribeiro, H., Silva, j., Marques, J., Fontes, N., Oliveira, P., Reis, P., Cordeiro, R., Carriço, S., Anunciação, V., Ramos, V.
- Arregui, F.J., Balaguer, M., Soriano, J., García-Serra, J. (2015). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *Urban Water Journal*, 13(5), 463–475. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993999>.
- Arregui, F.J., Cabrera, E., Cobacho, R., Garcia-Serra, J. (2005). Key factors affecting water meter accuracy. *Leakage 2005*, 1–10. Retrieved from <http://rash.apanela.com/tf/leakage/Key Factors Affecting Water Meter Accuracy.pdf>.
- Arregui, F.J., Cabrera, E., Cobacho, R., Garcia-Serra, J. (2006). Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies. *Water Practice & Technology Vol 1 No 4 - IWA Publishing*.
- Barros, J. M. C. B. S (2015). Perdas Aparentes em Sistemas de Abastecimento de Água Erros de Medição. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Coelho, F. B. (2017). Influência do desenvolvimento do perfil de velocidade na medição de vazão pelo medidor ultrassónico do tipo Clamp-On com dois canais. Tese de Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Rio de Janeiro.

Colarejo, J.M., (2017). Combate às perdas por sub-medição em contadores de instalações residenciais. Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento, pp.1-8.

Colarejo, J.M., Barroso, V. (2019). Formação Avançada em Medição de Caudais. Academia das Águas Livres, pp.1-44.

Criminisi, A., Fontanazza, C. M., Freni, G., & La Loggia, G. (2009). Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology*, 60(9), 2373–2382. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.423>.

Empresa Portuguesa de Águas Livres S.A. (2017). Controlo Ativo de Perdas de Água. Edição técnica. EPAL. Lisboa.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2019). Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal – Caracterização do setor de águas e resíduos – Volume I. ERSAR. Lisboa.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2019). Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos Prestados aos Utilizadores. Série Guias Técnicos 22, pp 1–353. Retrieved from <http://www.ersar.pt/pt/publicacoes/publicacoes-tecnicas/guias>.

Ervideira, A. M. F. (2014). André Manuel Freitas Ervideira Perdas em redes de abastecimento de água – Sistemas de deteção, controlo e gestão. Aplicação do conceito Smart Cities na óptica de sustentabilidade do ciclo da água. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão da Água. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pp 138.

Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Sigh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia.

Fernandes, J. M. C. (2014). Redução de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água - Definição de critérios para identificação de consumos fraudulentos. Tese de Mestrado em

Engenharia Civil especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. pp 131.

Lambert, A. O. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>.

Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(3), 831–837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>.

Liemberger, Roland, & Farley, M. (2004). Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 1: Investigating and Assessing Water Losses. *Proc IWA 4th World Water Congress and Exhibition 1924 September 2004 Marrakech Morocco*, 1–10. Retrieved from [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/LIEMBERGER FARLEY 2004 Developing a NRW Reduction Strategy.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LIEMBERGER_FARLEY_2004_Developing_a_NRW_Reduction_Strategy.pdf).

Malheiro, R. M. G. (2011). *Controlo de Perdas Aparentes em Sistemas de Abastecimento de Água com utilização de Telecontagem*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Martinho, S. (2013). *Perdas em sistema de abastecimento de água – INOVA (Cantanhede)*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil especialização em Construção Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Monedero, I., Biscarri, F., Guerrero, J. I., Peña, M., Roldán, M., & León, C. (2016). Detection of Water Meter Under-Registration Using Statistical Algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(1), 1–10. [https://doi.org/10.1061 \(ASCE\) WR.1943-5452.0000562](https://doi.org/10.1061 (ASCE) WR.1943-5452.0000562).

Ncube, M., & Taigbenu, A. (2019). Assessment of apparent losses due to meter inaccuracy – a comparative approach. *Water SA*, 45(2), 174–182. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.03>.

Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Zhang, H., Sahin, O., & Siriwardene, N. (2018). Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics. *Environmental Modelling and Software*, 101, 256–267.

NP EN ISO 4064-1 (2017). *Norma Portuguesa para os Contadores de água potável fria ou quente: Parte 1. Requisitos metrológicos e técnicos*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN ISO 4064-2 (2017). *Norma Portuguesa para os Contadores de água potável fria ou quente: Parte 2. Métodos de ensaio*. Instituto Português da Qualidade.

Portaria n.º 321/2019 de 19 de setembro. Diário da República n.º 180/2019 -Série I. Anexo e Economia.

Rizzo, A., Vermersch, M., St.John, S. G., Micallef, G., & Pace, R. (2007). Apparent water loss control: The way forward. *Water* 21, (AUG.), 45–47.

Rizzo, A. (s/data). “Apparent Water Loss Control”. The IWA Water Loss Task Force. IWA - Water21.

Rocha, A. V. M. A (2018). Instituições, Ação Social e Fraudes dos Clientes na Indústria da Água: Um estudo na Região Metropolitana de São Paulo à Luz da Economia Institucional. Pós-Graduação em Controladoria e Contabilidade, Departamento de Contabilidade, Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, São Paulo.

Silva-Silvia, S.C.A.S. (2018). Implementação de medidas de controlo de perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento. Tese de Mestrado em Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água, na área de Especialização em Saúde Pública, Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra. 91 pp.

Taborda, C. (1998). Melhorar a Qualidade de Medição. EPAL. Lisboa, Portugal.

Yaniv, S. (s/data). Reduction of Apparent Losses Using the UFR (Unmeasured-Flow Reducer) – Case Studies. Israel.