

Departamento
de Engenharia Química e Biológica

**Gestão e melhoria contínua do Sistema de Gestão da
Qualidade da empresa municipal Águas de Coimbra**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Carina Raquel Ferrão Bogalho

Orientadores

Professor Doutor Belmiro Pereira Mota Duarte

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química e
Biológica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Doutor Nuno Filipe Reis da Silva

Chefe do Serviço de Desenvolvimento Organizacional
Águas de Coimbra, E.M.

Coimbra, outubro, 2019

Agradecimentos

Gostaria de agradecer o apoio de todas as pessoas que de forma direta ou indireta colaboraram na realização do estágio. Os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor Belmiro Duarte, pelo incentivo, confiança, orientação, motivação e pela sua sábia e competente orientação.

Ao Doutor Nuno Silva pela orientação, generosidade, confiança, amizade e disponibilidade demonstrada.

Aos colegas do Serviço de Desenvolvimento Organizacional pelo carinho e amizade com que me acolheram.

À empresa Águas de Coimbra, E.M. por permitir com que este trabalho fosse realizado. A disponibilidade ao acesso ao laboratório de contadores e a informação fornecida foram fundamentais para a realização do estágio.

À minha família e ao André pela confiança, coragem, carinho, compreensão e alento que me deram para progredir.

Resumo

As empresas dedicadas à gestão de água, quer a nível do fornecimento e gestão da infraestrutura de abastecimento, quer ao nível do tratamento e drenagem, têm, hoje, implementados Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ). A Águas de Coimbra, E.M., empresa que gere o abastecimento de água e drenagem de águas residuais no concelho de Coimbra enquadra-se neste grupo, tendo nos últimos anos obtido reconhecimento do cumprimento da sua missão com elevado padrão de exigência. Sendo o SGQ uma estrutura que necessariamente tem de ser gerida e melhorada, a integração do estágio na Águas de Coimbra, E.M., visa a melhoria contínua do seu desempenho pela correta gestão e planeamento. Neste ponto, enquadra-se a verificação de equipamento por via de ensaios internos, que requer análise de incerteza de medidas.

No presente relatório estudou-se a evidência de como várias varáveis distintas podem afetar a condição de medição de um contador de água, daí a importância de desenvolver estudos que analisem e verifiquem o erro de medição. Assim, estudou-se os contadores de água de três marcas diferentes para analisar o efeito da marca na incerteza; estudou-se contadores reparados e contadores novos no sentido de analisar o efeito da reparação na incerteza; estudou-se a performance de contadores de calibre 15 mm vs. 20 mm, para analisar o efeito do caudal na incerteza. Finalmente, analisou-se a degradação de contadores com o tempo; calculou-se a repetibilidade da operação de verificação no laboratório da Águas de Coimbra, E.M. Parte considerável deste trabalho está centrado na resolução do problema, de caracterização e monitorização do erro de medida.

Com os estudos realizados é possível avaliar e identificar as medidas de melhoria a serem implementadas no processo de verificação dos contadores, de modo a maximizar a sua política de qualidade ativa enquadrada no paradigma da melhoria contínua.

Palavras-chave: Gestão da qualidade, Melhoria contínua, Verificação do equipamento, Análise de incerteza.

Abstract

Companies dedicated to water management, both in terms of supply and management of supply infrastructure, and in terms of treatment and drainage, have today implemented Quality Management Systems (QMS). Águas de Coimbra, E.M., a company that manages water supply and drainage at the level of the county level of Coimbra, is part of this group, having in recent years received recognition of the fulfilment of its mission with a high standard of demand. As the QMS is a structure that necessarily has to be managed and improved, the integration of the internship at Águas de Coimbra, E.M., aims at the continuous improvement of the QMS by the correct management and planning. At this point, the equipment verification through internal tests, which requires measurement uncertainty analysis, is framed.

Evidence has been studied in this report on how several distinct variables can affect the measurement condition of a water meter, hence the importance of developing studies that analyze and verify measurement error. Thus, water meters from three different brands were studied to analyze the effect of the brand on uncertainty; repaired and new counters have been studied to analyze the effect of repair on uncertainty; performance of 15 mm and 20 mm gauge counters were studied to analyze the effect of flow on uncertainty. Finally, the degradation of counters over time was analyzed; The repeatability of the verification operation was calculated at the laboratory of Águas de Coimbra, E.M. A considerable part of this work is focused on problem solving, characterization and measurement error monitoring.

With the studies carried out, it is possible to evaluate and identify the improvement measures to be implemented in the meter verification process to maximize their active quality policy within the continuous improvement paradigm.

Keywords: Quality Management; Continuously Improvement; Equipment Verification; Uncertainty Analysis.

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo..... | iii |
| Abstract | v |
| Índice..... | vii |
| Índice de Figuras | ix |
| Índice de Tabelas..... | xi |
| Terminologia | xiii |
| Siglas..... | xv |
| 1 Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 Empresa de Acolhimento | 2 |
| 1.2.1 História | 2 |
| 1.2.2 Missão, Visão, Valores..... | 3 |
| 1.2.3 Política da Qualidade..... | 4 |
| 1.2.4 Localização | 4 |
| 1.3 Plano de Trabalho | 4 |
| 1.3.1 Cronograma do estágio | 5 |
| 1.4 Estrutura do relatório..... | 5 |
| 1.5 Contextualização do problema | 6 |
| 2 O Sistema de Gestão da Qualidade na Águas de Coimbra, E.M. | 9 |
| 2.1 Sistema de Gestão da Qualidade | 10 |
| 2.1.1 Norma NP ISO 9001:2015..... | 10 |
| 2.1.2 Manual de Qualidade da Águas de Coimbra, E.M..... | 15 |
| 2.1.3 Requisito 7 da NP EN 9001:2015 – Suporte | 19 |
| 2.1.4 Requisito 9 da NP EN 9001:2015 – Avaliação do Desempenho | 22 |
| 2.1.5 Requisito 10 da NP EN 9001:2015 – Melhoria | 23 |
| 2.2 Trabalho realizado..... | 24 |
| 3 Revisão Bibliográfica | 27 |
| 3.1 Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento | 27 |
| 3.1.1 Perdas Aparentes | 28 |
| 3.1.2 Indicadores de perdas aparentes..... | 29 |
| 3.2 Erros de medição..... | 30 |
| 3.2.1 Medição de Caudais | 31 |
| 3.2.2 Caudais característicos de um contador | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.3 | Curva de erros | 32 |
| 3.2.4 | Erros de sub-medição..... | 34 |
| 3.3 | Análise do Sistema de Medição | 35 |
| 3.3.1 | Processo de medição..... | 36 |
| 3.3.2 | Fontes da variação do processo | 36 |
| 3.3.3 | Estatística básica | 38 |
| 3.4 | Modelos de degradação..... | 39 |
| 3.4.1 | Modelo com a forma de uma lei de potência | 39 |
| 3.4.2 | Modelo linear | 40 |
| 3.5 | Ferramentas de Análise do Sistema de Medida..... | 41 |
| 3.5.1 | Determinação da Repetibilidade e da Reprodutibilidade | 41 |
| 3.5.2 | Método baseado na gama e na média das medidas..... | 42 |
| 3.5.3 | Critérios de aceitação..... | 43 |
| 4 | Análise e Resolução do problema | 45 |
| 4.1 | Cálculo da Repetibilidade..... | 46 |
| 4.2 | Análise comparativa do erro de medição em contadores novos e reparados | 47 |
| 4.3 | Análise comparativa do erro de medição por marca de contador | 52 |
| 4.4 | Análise comparativa do erro de medição por calibre do contador | 56 |
| 4.5 | Estudo da degradação do erro de medição com o tempo..... | 59 |
| 5 | Conclusões e trabalho futuro | 65 |
| | Referências..... | 67 |
| | Anexos..... | 71 |
| | Anexo A | 71 |
| | Anexo B | 73 |
| | Anexo C | 75 |
| | Anexo D..... | 77 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Concelho de Coimbra e respetivas freguesias. (retirado de Silva & Santos, (2016)). | 3 |
| Figura 2.1 - Os sete princípios da gestão da qualidade. (adaptado de APCER, (2015)). | 11 |
| Figura 2.2 - Esquema representativo da metodologia PDCA (adaptado de APCER, (2010)). | 12 |
| Figura 2.3 - Exemplo da estrutura da documentação de uma organização genérica. (adaptada de Pires, (2007)). | 13 |
| Figura 2.4 - Esquema representativo da relação dos requisitos da ISO 9001:2015 com o ciclo PDCA. (adaptado de Vieira, (2016)). | 15 |
| Figura 2.5 - Mapa de Processos de SGQ (retirado de Silva & Santos, (2016)). | 17 |
| Figura 3.1 - Perdas de água na rede de distribuição de Lisboa em 2003 (adaptado de Sousa, (2011)). | 27 |
| Figura 3.2 - Dinâmica dos erros de medição de contadores retirados de serviço (retirado de Sardinha, et al., (2017)). | 29 |
| Figura 3.3 - Comportamento metrológico dos contadores segundo o tempo de colocação (retirado de Taborda, (1999)). | 30 |
| Figura 3.4 – Instrumento que fornece o volume real passado pelo contador num ensaio típico (fonte: autor). | 31 |
| Figura 3.5 - Curva de erros típica de um contador volumétrico de DN 15 mm (adaptado de Frangipani, (2007)). | 33 |
| Figura 3.6 - Curva de erros típica (retirado de Alves, Peixoto, Sanchez, & Leite, (2004)). | 33 |
| Figura 3.7 - Comparação das diferentes classes metrológicas (retirado de IPQ, (2008)). | 34 |
| Figura 3.8 - Curva típica de exatidão de contadores de água (retirado de Rizzo, Pearson, Stepheson, & Harper, (2004)). | 34 |
| Figura 3.9 - Exatidão vs. tendência vs. precisão (retirado de Werkema, (2006)). | 37 |
| Figura 3.10- Exemplo da análise da linearidade (retirado de Portal Action, (2019)). | 38 |
| Figura 4.1 - Amostra de contadores de água na rampa de ensaio (fonte: autor). | 45 |
| Figura 4.2 - Amostra de contador de água usado no ensaio (fonte: autor). | 46 |
| Figura 4.3 – Comparação do erro de medição entre contadores novos e reparados - Escala logarítmica (fonte: autor). | 49 |
| Figura 4.4 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores novos e reparados (fonte: autor). | 50 |
| Figura 4.5 - Comparação do erro de medição entre marcas, A, B e C - Escala logarítmica (fonte: autor). | 53 |
| Figura 4.6 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca A e da marca B (fonte: autor). | 55 |
| Figura 4.7 - Comparação do erro de medição entre contadores de calibre 15 mm e calibre 20 mm – Escala logarítmica (fonte: autor). | 57 |
| Figura 4.8 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores com calibres de 15 mm e 20 mm (fonte: autor). | 58 |
| Figura 4.9 – Erro de medição de contadores de água em função do caudal e da idade após instalação (fonte: autor). | 61 |
| Figura 4.10 – Erro de medição de contadores em função da idade após instalação (fonte: autor). | 62 |
| Figura C.1 – Impresso registo de ensaios a contadores de água. | 75 |
| Figura D.1 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca A e da marca C (fonte: autor). | 77 |

Figura D.2 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca B e da
marca C (fonte: autor)..... 77

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1 - Cronograma do estágio | 5 |
| Tabela 2.1 - Interação dos processos com os requisitos normativos (retirado de Silva & Santos, (2016)). | 18 |
| Tabela 2.2 - Interação dos processos com os requisitos normativos - continuação (retirado de Silva & Santos, (2016)). | 19 |
| Tabela 2.3 - Entradas e Saídas do P8 – Melhoria (retirado de Silva & Santos, (2016)). | 22 |
| Tabela 4.1 - Caracterização da variabilidade, repetibilidade, (R&R) e a variabilidade total para os caudais de 15 L/h, 22,5 L/h e 3000 L/h..... | 47 |
| Tabela 4.2 - Teste de K-S para contadores novos vs. reparados, caudal a caudal..... | 51 |
| Tabela 4.3 – Teste de K-S por marca de contador, caudal a caudal. | 56 |
| Tabela 4.4 - Teste de K-S para contadores de calibre de 15 mm vs. 20 mm, caudal a caudal.... | 59 |
| Tabela 4.5 - Intervalo de confiança dos parâmetros..... | 62 |
| Tabela B.1 - Valores da distribuição da gama das médias. (retirado de AIAG, (2010)). | 73 |

Terminologia

Controlo de Qualidade: Conjunto de técnicas e atividades de carácter operacional utilizadas com vista a responder às exigências relativas à qualidade.

Garantia de Qualidade: Conjunto de ações programadas e sistemáticas necessárias para proporcionar a confiança apropriada de que um produto ou um serviço satisfaz os requisitos definidos para a qualidade.

Gestão da Qualidade: Aspeto da função geral da gestão que determina a política da qualidade e a implementa.

Repetibilidade: Variação entre medições obtidas com o mesmo instrumento quando usado várias vezes por um mesmo colaborador.

Reprodutibilidade: Variação entre médias das medições feitas por diferentes colaboradores utilizando o mesmo dispositivo de medição.

Siglas

| Sigla | Designação |
|----------------|---|
| AIAG | <i>Automotive Industry Action Group</i> |
| ASM | Análise do Sistema de Medida |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| DN | Diâmetro Nominal |
| GTQ | Gestão Total da Qualidade |
| ISEC | Instituto Superior de Engenharia de Coimbra |
| IT | Instrução de Trabalho |
| IPQ | Instituto Português da Qualidade |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| MID | <i>Measurement Instruments Directive</i> |
| MQ | Manual da Qualidade |
| MSA | <i>Measurement System Analysis</i> |
| PDCA | <i>Plan-Do-Check-Act</i> |
| PG | Procedimentos Gerais |
| R&R | Repetibilidade e Reprodutibilidade |
| SGQ | Sistema de Gestão da Qualidade |
| SGS | <i>Société Générale de Surveillance</i> |

1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se as bases fundamentais que enquadraram o estágio. Para além disso, é detalhado e devidamente contextualizado o problema fundamental tratado no âmbito do estágio em causa.

1.1 Enquadramento

Nos dias de hoje, as empresas têm de encarar alguns desafios para alcançarem melhores resultados e, conseqüentemente, a satisfação dos clientes. A exigência do mercado por produtos e serviços de qualidade leva a uma elevada concorrência nos vários setores. Deste modo, organizações que pretendam ser competitivas e queiram enfrentar os desafios impostos pela competição têm a necessidade de encontrar modos de gestão que lhe permitam responder adequadamente às solicitações de melhoria. Assim, um dos principais objetivos das organizações passa pela melhoria contínua da qualidade dos produtos e serviços, uma vez que o seu sucesso se cruza com a satisfação dos requisitos dos seus clientes.

No âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, foi realizado o estágio na empresa Águas de Coimbra, E.M. A empresa dedica-se à gestão de água no município de Coimbra, quer ao nível do fornecimento e gestão de infraestrutura de abastecimento, quer ao nível do tratamento e drenagem de águas residuais.

O presente estágio tem como principal foco a melhoria contínua do Sistema de Gestão da Qualidade da Águas de Coimbra, E.M. e sua respetiva gestão e planeamento. Ao longo do estágio existem vários objetivos específicos a que foram dadas respostas, tais como apoio à gestão documental dos procedimentos e registos e possível melhoria, contributos nas atividades de planeamento e auditoria interna, colaboração na adequação de procedimentos de controlo de processos, particularmente ao nível da verificação regular do equipamento por via de ensaios internos, onde é analisada a incerteza de medidas, entre outros.

Na prática, as atividades do estágio estiveram ligadas a duas necessidades distintas da Águas de Coimbra, E.M.:

- por um lado, o apoio à gestão do SGQ, que envolveu tarefas regulares de base diária;
- por outro lado, a proposta de metodologias decorrentes de conhecimento estruturado ao problema identificado relevante para a empresa, que foi simultaneamente objetivo fulcral no quadro da componente de investigação deste estágio.

1.2 Empresa de Acolhimento

A Águas de Coimbra, E.M. é uma empresa municipal que gere o abastecimento e drenagem de água no concelho de Coimbra. A sua história começou há mais de uma centena de anos, com o abastecimento de água ao domicílio. Até então, era necessário ir buscar a água às fontes, às cisternas e aos poços e/ou ao Rio Mondego. A seguir faz-se um enquadramento histórico da sua evolução.

1.2.1 História

Em meados do ano 1889, a água chega finalmente às casas de muitos dos conimbricenses, após várias tentativas efetuadas durante aproximadamente duas décadas. A água captada no Mondego, era elevada a partir da estação elevatória da Rua da Alegria para os reservatórios do Jardim Botânico (atualmente desativado) e da Cumeada. No ano de 1922, é edificada a Estação Elevatória do Parque Dr. Manuel Braga, a qual, até meados dos anos 1950, foi o centro nevrálgico do abastecimento de água à cidade. Nos anos seguintes, o sistema de captação e elevação foi modernizado, inclusive com a substituição do equipamento elevatório, que deixou de funcionar a gás passando a utilizar energia elétrica. Entre 1926 e 1956, ampliou-se a rede e a respetiva capacidade do sistema para fazer face às necessidades da população e do desenvolvimento urbano, também impulsionado pelo surto industrializador. Além do crescimento demográfico e socioeconómico da cidade, também um número cada vez mais elevado de povoações rurais esperava ansiosamente pelos benefícios do moderno abastecimento de água e saneamento. Entre 1985 e 2000, durante esta década e meia, foram muitos os progressos e consideráveis os investimentos no reforço das captações, na ampliação da rede e no aperfeiçoamento dos processos de tratamento e de controlo da qualidade da água, bem como na instalação de vários reservatórios. Em 2003, face aos desafios de maior exigência – em termos de quantidade e de qualidade da água e da própria legislação, comunitária e nacional, mais rigorosa e específica, os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Coimbra transformaram-se na Empresa Municipal, denominada Águas de Coimbra, E.M. De 2007 adiante, a empresa tem pautado a sua ação pela modernização e melhoria da qualidade dos respetivos serviços através do controlo regular mais sofisticado e aperfeiçoado da qualidade da água e da respetiva comunicação com os clientes, bem como de novos equipamentos de telecontagem e telegestão. Igualmente merecedor de referência tem sido o investimento efetuado com vista ao incremento de uma nova cultura da água, por meio de múltiplas iniciativas levadas a cabo no âmbito do Museu da Água, inaugurado em 2007 e já considerado um Museu de referência, entre os seus congéneres europeus. A área geográfica total abrangida é genericamente a correspondente ao concelho de Coimbra, composto por 31 freguesias, transformadas em 18 com a reorganização administrativa do território de 2013 (Figura 1.1), ocupando uma área de aproximadamente 320 km² (Silva & Santos, 2016).



Figura 1.1 - Concelho de Coimbra e respetivas freguesias. (retirado de Silva & Santos, (2016)).

1.2.2 Missão, Visão, Valores

A seguir listam-se as ferramentas estratégicas em termos objetivos para a Águas de Coimbra, E.M. (Silva & Santos, 2016).

| | |
|----------------|--|
| Missão | Assegurar o abastecimento de água e a drenagem de águas residuais, bem como a prestação de serviços associados. |
| Visão | Ambição em ser uma referência nacional na prestação de serviços de excelência aos clientes e na adoção de práticas inovadoras no setor da gestão de águas. |
| Valores | As atuações dos trabalhadores da Águas de Coimbra, E.M. norteiam-se por padrões de conduta, designadamente: <ul style="list-style-type: none">• Ética;• Espírito de equipa;• Excelência;• Liderança;• Serviço público. |

1.2.3 Política da Qualidade

A Águas de Coimbra, E.M., no âmbito da sua atividade compromete-se a: fortalecer a relação com os clientes e demais partes interessadas, pela satisfação das suas necessidades e superação das expectativas; disponibilizar serviços de excelência e adotar práticas inovadoras no sector; disponibilizar água segura aos Clientes e Utilizadores; dar atenção aos trabalhadores, orientar, motivar e desenvolver o seu potencial; contribuir para a sustentabilidade e educação ambiental; cumprir os requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis nomeadamente, os requisitos da Norma ISO 9001 e melhorar continuamente o desempenho e a eficácia do sistema de gestão.

1.2.4 Localização

A empresa tem a sua sede em Coimbra, na Rua da Alegria nº111, Apartado 129, 3001-902 Coimbra, Portugal.

1.3 Plano de Trabalho

O presente relatório de estágio constitui prova física passível de consulta pública relativamente ao estágio realizado pela autora de 19 de outubro de 2018 a 28 de junho de 2019 na Águas de Coimbra, E.M. Ele pretende igualmente cumprir os requisitos da unidade curricular de Estágio/Dissertação/Projeto integrada no Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial lecionado pelo ISEC.

A seguir lista-se o plano de trabalho estabelecido e o cronograma a ele referente. O estágio consistirá nas seguintes tarefas (T) e respetivas atividades (A):

T1 – Integração na equipa

- A1 – Integração na equipa de trabalho e familiarização com a estrutura empresarial;
- A2 – Perceção do SGQ;
- A3 – Perceção da estrutura do Manual da Qualidade e principais procedimentos.

T2 – Apoio à equipa de gestão do SGQ

- A1 – Análise da melhoria de procedimentos;
- A2 – Tratamento e documentação de dados;
- A2 – Preparação de relatórios de informação.

T3 – Apoio às atividades de controlo do processo

- A1 – Análise e regular implementação de calibração de equipamentos;
- A2 – Análise de métricas de performance do SGQ.

T4 – Elaboração de estudos e R&R

A1 – Determinação das fontes de incerteza.

T5 – Escrita do relatório

A1 – Escrita e apresentação do relatório de estágio.

1.3.1 Cronograma do estágio

O cronograma do estágio (Tabela 1.1) apresenta as tarefas acima descritas, incluindo as respetivas atividades que foram executadas de acordo com a calendarização listada.

Tabela 1.1 - Cronograma do estágio

| | | 2018 | | | 2019 | | | | | |
|-----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. |
| T1 | Integração na equipa | | | | | | | | | |
| A1 | Integração na equipa de trabalho e familiarização com a estrutura empresarial | | | | | | | | | |
| A2 | Perceção do SGQ | | | | | | | | | |
| A3 | Perceção da estrutura do Manual da Qualidade e principais procedimentos. | | | | | | | | | |
| T2 | Apoio à equipa de gestão do SGQ | | | | | | | | | |
| A1 | Análise da melhoria de procedimentos | | | | | | | | | |
| A2 | Tratamento e documentação de dados | | | | | | | | | |
| A3 | Preparação de relatórios de informação | | | | | | | | | |
| T3 | Apoio às atividades de controlo do processo | | | | | | | | | |
| A1 | Análise e regular implementação de calibração de equipamentos | | | | | | | | | |
| A2 | Análise de métricas de performance do SGQ | | | | | | | | | |
| T4 | Elaboração de estudos e R&R | | | | | | | | | |
| A1 | Determinação das fontes de incerteza | | | | | | | | | |
| T5 | Escrita do relatório | | | | | | | | | |
| A1 | Escrita e apresentação do relatório de estágio | | | | | | | | | |

1.4 Estrutura do relatório

O relatório de estágio apresenta uma estrutura de cinco capítulos, começando na introdução e terminando na conclusão e trabalho futuro. Dos capítulos principais são excluídos as referências e os anexos.

O presente capítulo é constituído pela introdução ao estágio, neste são definidos o enquadramento, a empresa de acolhimento, o plano de trabalho e na presente secção a estrutura do relatório de estágio.

No segundo capítulo, é feito um estudo ao Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e analisada a sua implementação na Águas de Coimbra, E.M., sendo apresentado o Sistema de Gestão de Qualidade definido pela norma EN ISO 9001:2015, identificados os vários processos relevantes definidos no Manual de Qualidade da Águas de Coimbra, E.M., e analisado o mapeamento dos processos da empresa com os requisitos na norma EN ISO 9001:2015.

Segue-se o terceiro capítulo, que se destina a estabelecer o estado da arte no que diz respeito ao controlo do erro de medição e verificação de medidores de água em sistemas de distribuição de água e estabelecer as bases conceptuais e as ferramentas usadas no âmbito do estágio.

No quarto capítulo é apresentada a análise e resolução do problema considerado primordial, bem como detalhados os vários estudos realizados durante o estágio, de entre os quais se destaca, o estudo da repetibilidade, comparação do comportamento do erro de medida em contadores novos e reparados, comparação do comportamento do erro de medida entre três marcas de contadores e comparação do comportamento do erro de medida entre contadores de Diâmetro Nominal (DN) de 15 mm e de 20 mm.

Termina-se com o quinto capítulo, onde se apresentam as principais conclusões do trabalho desenvolvido durante o estágio, bem como algumas sugestões de trabalho a desenvolver no futuro.

1.5 Contextualização do problema

A Águas de Coimbra, E.M. norteia os seus valores pelo contrato social que requer dos gestores de água uma gestão otimizada e orientada para a eficiência. Simultaneamente o SGQ implementado tem garantido a evolução permanente tirando partido de ações efetivas de melhoria contínua. Neste quadro há fundamentalmente dois aspetos cruciais na garantia da eficiência da gestão da água:

1. promover uma política de otimização alinhada com requisitos sociais atuais, que, nomeadamente, regulam a melhoria da performance;
2. evidenciar e garantir o serviço aos clientes internos (serviços dentro da empresa) e externos (público em geral).

Ao longo dos anos um dos aspetos centrais da Águas de Coimbra, E.M. é a manutenção e otimização da sua infraestrutura. Na prática, este requisito foca-se na redução das perdas na rede de distribuição. Tal é parcialmente conseguido por uma renovação periódica da infraestrutura. No entanto, além disso, a deteção de perdas requer atualmente estratégias sistemáticas de monitorização adequadas, que simultaneamente garantam ao cliente a certeza

do consumo e ao fornecedor o efetivo valor fornecido, que por sua vez está associado a um custo.

Nos últimos anos a Água de Coimbra, E.M. tem adotado duas estratégias de redução de perdas de água na infraestrutura:

1. renovar a rede de distribuição anualmente, tendo por base um ciclo de vida da rede total de 50 anos;
2. monitorizar, verificar e substituir os medidores de consumo alocados ao cliente final, por forma a que, simultaneamente, o fornecedor e o cliente tenham confiança no sistema.

A melhoria da performance dos sistemas de medida é crucial e vem na continuidade de ações promovidas pela Águas de Coimbra, E.M. Neste quadro, referem-se, por exemplo, a instalação de medição por telemetria. No quadro da melhoria da monitorização de perdas ao consumidor regular, um dos aspetos que tem vindo a ser melhorado é a verificação regular e substituição dos contadores. Note-se que, conforme se verá no Capítulo 2, a verificação de equipamentos faz parte do mecanismo de garantia de qualidade ao consumidor, estando enquadrado no SGQ, mais especificamente no Processo de Melhoria, o qual por sua vez envolve a Análise do Sistema de Medida (ASM). Mais à frente, discutem-se detalhadamente as atividades da ASM e a verificação do equipamento de medida a clientes internos e externos. Praticamente, isso envolve a análise e caracterização dos erros, particularmente os que estão associados à verificação.

Deste modo, o ASM está intrinsecamente ligado à verificação inicial. Obviamente, outros aspetos têm vindo a assumir relevância na melhoria contínua, como sejam por exemplo a relação entre o erro de verificação (e medição) e o caudal, ou a relação entre erro de verificação e a marca do contador. Outro conjunto de aspetos cruciais a analisar para a seguir melhorar com base no conhecimento decorre do facto de inevitavelmente existir degradação ao longo do tempo de vida dos contadores. Isto é, de facto, apesar da verificação inicial, o tempo e o volume de água neles passada causam a potencial degradação da medida. Ora, um tal comportamento pode ter custos para o fornecedor.

Este quadro, que caracteriza o sistema de medida atual, requer antes de mais um diagnóstico que permita traçar ações de melhoria. Assim, o problema fundamental estudado neste estágio foi o de caracterizar devidamente o sistema de medida tendo em conta vários aspetos, que são tidos como importantes na certeza que transmitem aos consumidores e aos clientes internos nos quais se integra a própria gestão de topo, bem como os acionistas (Câmara Municipal de Coimbra).

2 O Sistema de Gestão da Qualidade na Águas de Coimbra, E.M.

Neste capítulo analisa-se o SGQ da Águas de Coimbra, E.M. A análise aqui proposta não visa ser extensiva; na prática optou-se por enquadrar as atividades desenvolvidas ao longo do estágio, quer aquelas que integram em ações diárias de carácter repetitivo, quer as que estão ligadas à caracterização do sistema de medida, cujo objetivo é a extração de conhecimento que permita, a seguir, tomar decisões mais robustas.

O conceito de qualidade é subjetivo, pois depende da perceção de cada um, no entanto, de forma geral, entende-se por qualidade, o grau de satisfação dos requisitos específicos relativos a um conjunto de características próprias ao produto e/ou serviço. A qualidade, segundo a definição da norma NP EN ISO 9000:2005, é compreendida como o “grau de satisfação de requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas”, onde o desempenho de qualquer organização depende diretamente da sua aptidão em deslocar e organizar meios e recursos necessários à realização de produtos e serviços que satisfaçam o cliente, aqui interpretado como consumidor. O desenvolvimento de metodologias baseadas em princípios da qualidade permite a qualquer organização atingir a eficácia e melhoria contínua dos métodos e processos, sendo, assim, possível alcançar o sucesso, o reconhecimento e a distinção (Pinto & Soares, 2011).

Para garantir os objetivos de qualidade de um produto ou serviço as organizações necessitam de implementar um Sistema de Gestão da Qualidade; tal sistema enquadra sistemas de controlo, monitorização, garantia e gestão. Desde a antiguidade que se pode identificar a necessidade de ter uma produção cada vez mais eficiente em termos de qualidade e quantidade, para isso já eram comuns as técnicas de planeamento, organização e controlo utilizadas pelos sumérios, egípcios, babilónios, chineses e gregos. No entanto, o conceito de gestão da qualidade só surgiu mais tarde no Japão, na década de 50, por Ishikawa (António, Teixeira, & Rosa, 2016). No período pós-guerra, davam-se os primeiros passos nos sistemas de qualidade. W. Edwards Deming e J. Juran, desenvolveram o modelo da qualidade implementado no Japão, e ao mesmo tempo, foram também influenciados pelo modelo japonês, o qual apoiava fortemente a ideia de que os trabalhadores dos cargos mais elevados tivessem participação obrigatória na boa gestão da qualidade (Gomes, 2004). Contudo, só na década de 80 a qualidade é entendida como um sistema de gestão, e se estendeu aos Estados Unidos e em seguida à Europa. Tal configuração veio a designar-se por Gestão Total da Qualidade (GTQ).

No ano de 1987, com o apelo da globalização e de modo a facilitar as exportações e a relação entre cliente e fornecedor, é criado o modelo normativo ISO (*International Standard Organization*) para a área de Gestão da Qualidade, designada ISO 9000 – Sistemas de Garantia de Qualidade. O modelo em causa, rapidamente se disseminou a várias organizações, tendo-se tornado uma exigência fundamental em muitos setores, nomeadamente para a indústria automóvel. Na revisão à norma, feita em 2000, a ISO 9001:2000 passou a ser vista fundamentalmente como uma norma de Qualidade. Foram incluídos elementos da gestão de processos para a gestão por diretrizes e o foco no cliente (Pires, 2012). A seguir introduzem-se os pilares de um SGQ.

2.1 Sistema de Gestão da Qualidade

A competição entre organizações, potenciada pelo desafio da crescente globalização da economia relança e acentua a necessidade de satisfazer os requisitos do cliente. Em qualquer organização é imposta a necessidade de ter um Sistema de Gestão da Qualidade, sendo esse muitas vezes, um importante critério de seleção ou de exclusão de produtos. A organização deve dispor comprovadamente de meios e recursos necessários referentes ao SGQ e à sua melhoria contínua, de forma a seguir o progresso da exigência dos seus clientes. O SGQ compreende a melhoria contínua dos processos de trabalho, para garantir uma organização ótima e eficiente, que permita alcançar produtos ou serviços de alta qualidade, tendo em conta o seu custo-benefício (Spector & Beer, 1994). Assim, o processo de melhoria contínua pelo SGQ tornou-se uma das ferramentas mais adotadas pelas organizações para a gestão da qualidade e a gestão da relação cliente-fornecedor.

Um Sistema de Gestão da Qualidade é um subsistema de gestão, que requer recursos e atribui responsabilidades, pelo que, todas as organizações ao implementar um SGQ esperam obter benefícios. Os objetivos a atingir prendem-se com o cumprimento dos requisitos contratuais, a redução de reclamações dos clientes, a redução dos prejuízos materiais derivados de produtos não conformes, a melhoria das competências dos colaboradores e melhoria da imagem da empresa (Pinto & Soares, 2011). Para haver gestão da qualidade é necessário atender às suas especificações do produto/serviço: qualidade da conceção; qualidade de produto/serviço; qualidade na utilização e qualidade relacional (Pires, 2007). Entende-se por qualidade de conceção, uma medida relativa à forma como o projeto do produto incorpora as necessidades do consumidor. A qualidade do serviço é a forma como o serviço satisfaz as especificações. Qualidade na utilização refere-se à aptidão do serviço desempenhar a sua função. Finalmente, a qualidade relacional é a medida de eficácia de relação com o cliente. Posteriormente à perceção e implementação destas especificações, a organização considera-se capaz de oferecer qualidade nos seus serviços. Todavia, a maioria das empresas não fornecem serviços de alta qualidade, pois não apresentam os requisitos que correspondem às expectativas do consumidor, ainda que todas pretendam atingir a qualidade total.

Para garantir a qualidade e com a finalidade de satisfazer com maior eficácia as necessidades dos seus clientes relativamente aos seus serviços, a Águas de Coimbra, E.M. tem implementada a norma NP:ISO 9001:2015, a seguir analisada de forma sumária.

2.1.1 Norma NP ISO 9001:2015

O objetivo da ISO 9001 é avaliar a capacidade de uma organização em agir de forma eficiente, verificando a sua aptidão para produzir e proporcionar produtos e serviços de qualidade, aumentando a satisfação do cliente através da melhoria contínua. Esta foi desenvolvida em 1987, e desde então revista quatro vezes, 1994, 2000, 2008 e a mais recente em 2015, originando, assim, a norma ISO 9001:2015 (APCER, 2015). A NP EN ISO 9001:2015 centra-se na implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade. Esta

implementação deve decorrer de uma decisão estratégica da organização em que o envolvimento e o compromisso da gestão de topo no sistema são fundamentais. A conceção e implementação do SGQ são influenciadas pelo ambiente, necessidades variáveis, objetivos particulares, bem como pelos produtos que fornece, processos utilizados, dimensão e estrutura da organização. Este processo pode ser lento, mas origina valor acrescentado. A dinâmica de melhoria contínua introduzida na norma tem por objetivo dotar as organizações da capacidade de incrementar continuamente a eficácia do sistema (White, 1998).

Esta norma encontra-se sustentada nos sete princípios da gestão da qualidade. Estes foram desenvolvidos e acordados pela ISO em meados dos anos 90, refletindo o senso comum e o pensamento de muitos dos maiores especialistas mundiais da qualidade (Carpinetti, 2016), ver Figura 2.1.



Figura 2.1 - Os sete princípios da gestão da qualidade. (adaptado de APCER, (2015)).

Estes princípios resumem-se a:

- **Foco no cliente:** O foco primordial da gestão da qualidade é a satisfação dos requisitos dos clientes e o esforço em exceder as suas expectativas;
- **Liderança:** Os líderes estabelecem, a todos os níveis, unidade no propósito e direção e criam as condições para que as pessoas se comprometam em atingir os objetivos da organização;
- **Comprometimento das pessoas:** Pessoas competentes, habilitadas e empenhadas a todos os níveis em toda a organização são essenciais para melhorar a capacidade de criar e proporcionar valor;
- **Abordagem por processos:** Resultados consistentes e previsíveis são atingidos de modo mais eficaz e eficiente quando as atividades são compreendidas e geridas como processos inter-relacionados que funcionam como um sistema coerente;

- **Melhoria:** As organizações que têm sucesso estão permanentemente focadas na melhoria;
- **Tomada de decisões baseada em evidências:** Decisões tomadas com base na análise e avaliação de dados e informação são mais suscetíveis de produzir os resultados desejados;
- **Gestão de relacionamentos:** Para um sucesso sustentado, as organizações gerem as suas relações com partes interessadas relevantes, tais como fornecedores (APCER, 2015).

Todas as normas ISO de um sistema de gestão têm elementos comuns e adotam o ciclo PDCA (*PLAN-DO-CHECK-ACT*) de melhoria contínua. Para a implementação de um SGQ a organização deve gerir os seus processos de base, de forma a obter os resultados pretendidos, ver Figura 2.2, que ilustra o ciclo PDCA.

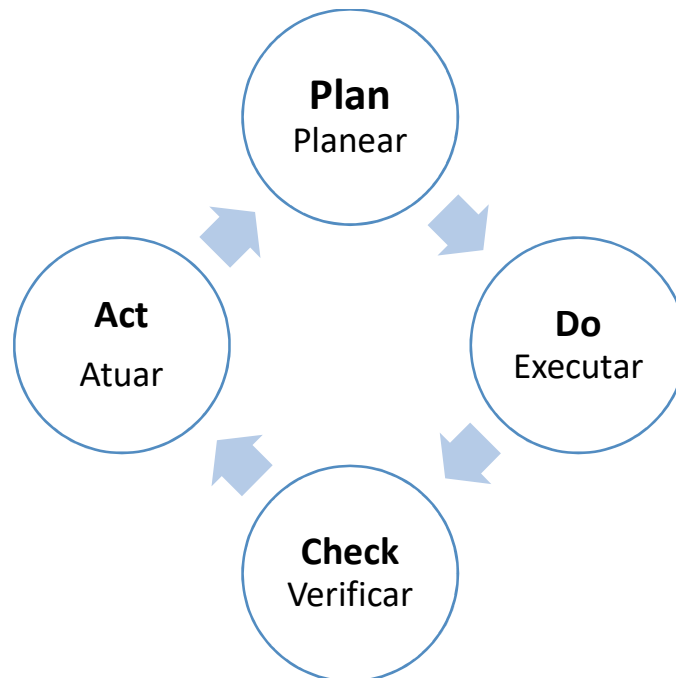


Figura 2.2 - Esquema representativo da metodologia PDCA (adaptado de APCER, (2010)).

É patente que as atividades desenvolvidas durante o presente estágio estão ancoradas em vários dos elementos do ciclo PDCA. Nomeadamente, a abordagem por processos, a perspetiva de melhoria contínua e a estruturação de conhecimento que visa a tomada de decisão. O ciclo PDCA é uma constante em todo o sistema, sendo que o objetivo máximo é sempre a satisfação do cliente. Para isso é importante:

- **Planear:** estabelecer os objetivos e processos para obter resultados de acordo com os requisitos do cliente e regulamentos aplicáveis, bem como, com as políticas da organização;

- **Executar:** implementar o que foi planeado;
- **Verificar:** monitorizar e medir processos e produto/serviço face a políticas, objetivos e requisitos para o produto/serviço e reportar os resultados;
- **Atuar:** empreender ações para melhoria contínua de desempenho, incluindo a revisão de todo o sistema para determinar que este funciona, está atualizado e é adequado (Pinto & Soares, 2018).

O SGQ é um processo dinâmico submetido a uma avaliação periódica, onde são analisados a coerência e eficiência dos objetivos propostos, o seu cumprimento e a eficácia das medidas corretivas implementadas. Isto resulta num esforço de gestão que se pode traduzir na melhoria contínua do desempenho da qualidade da própria organização (Carpinetti, 2016). No âmbito do SGQ, no que se refere a procedimentos, impressos e especificações é importante e necessário a existência de documentação organizada. Os documentos são fundamentais para atingir e evidenciar resultados, de modo a demonstrar a capacidade de fornecer consistentemente os serviços que cumprem os requisitos. Para garantir e mostrar que os resultados são atingidos é necessário ter registos e relatórios, por exemplo, boletins de ensaios, relatórios de ensaios, relatórios de auditorias, entre outras (APCER, 2010).

Usualmente, a estrutura documental segue uma hierarquia que facilita a sua compreensão. Na Figura 2.3 é apresentada uma estrutura de documentação genérica.



Figura 2.3 - Exemplo da estrutura da documentação de uma organização genérica. (adaptada de Pires, (2007)).

A estrutura hierárquica evidencia os diferentes níveis de autoridade e responsabilidade, indo dos desígnios estratégicos da organização até às atividades de concretização e monitorização. Segundo a NP EN ISO 9001:2015, o Manual da Qualidade é definido como “um documento que especifica o SGQ de uma organização”, sendo de nível superior. Na prática, formaliza

o Sistema de Gestão da Qualidade da organização e documenta o seu funcionamento de maneira clara, demonstrando a estrutura e a política adotada na execução de tarefas para garantir a qualidade do produto ou serviço (APCER, 2015).

O Manual da Qualidade deve apresentar uma estrutura lógica; numa primeira parte é feita uma apresentação introdutória e numa segunda parte são apresentados os processos e procedimentos. Deve também apresentar um capítulo por cada requisito do SGQ da norma NP EN ISO 9001:2015, no sentido de facilitar e uniformizar a comunicação, sendo eles:

1. Objetivo e campo de aplicação;
2. Referência normativa;
3. Termos e definições;
4. Contexto da organização;
5. Liderança;
6. Planeamento;
7. Suporte;
8. Operacionalização;
9. Avaliação de desempenho;
10. Melhoria.

Na Figura 2.4, é apresentado um esquema ilustrativo da relação dos requisitos com o ciclo PDCA.

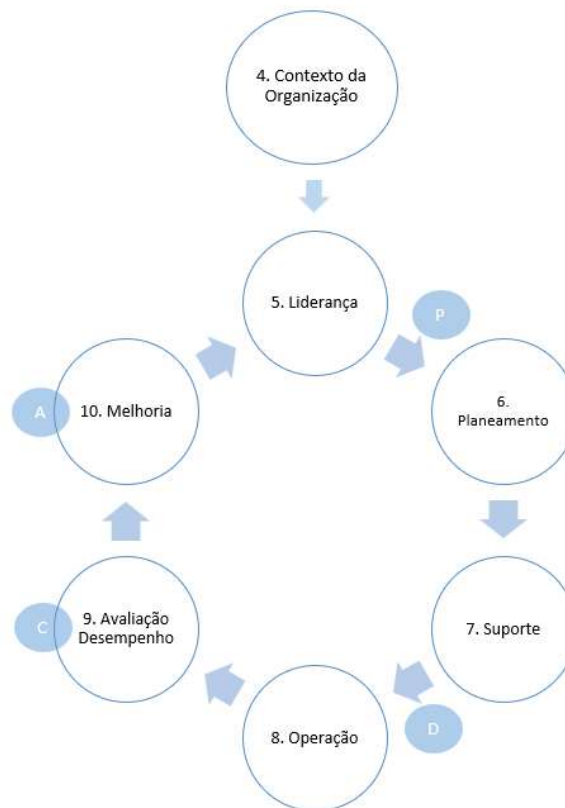


Figura 2.4 - Esquema representativo da relação dos requisitos da ISO 9001:2015 com o ciclo PDCA. (adaptado de Vieira, (2016)).

2.1.2 Manual de Qualidade da Águas de Coimbra, E.M.

O Sistema de Gestão da Qualidade da Águas de Coimbra, E.M. é descrito no Manual da Qualidade, implementado de acordo com a norma NP EN ISO 9001:2015. Este descreve os meios adotados para assegurar a qualidade do produto e do serviço prestado, integrando os procedimentos de organização e de execução do conjunto das atividades correspondentes ao Sistema de Gestão. Nele devem estar definidos os requisitos do SGQ, a descrição e interação dos processos incluídos no SGQ, a estrutura organizacional e a referência aos procedimentos documentados estabelecidos.

O MQ da Águas de Coimbra, E.M., em conjunto com todos os outros documentos internos e externos, assegura a documentação do Sistema de Gestão, ficando garantido o principal objetivo da sua implementação, que é o de demonstrar a capacidade para gerir os sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais conforme os requisitos do cliente, normativos (ISO 9001), estatutários, legais e regulamentares aplicáveis (Silva & Santos, 2016). O documento segue a estrutura mencionada na seção 2.1.1, onde a primeira parte apresenta a empresa e a organização para a qualidade, e a segunda parte os processos do Sistema de Gestão.

A aplicação de um sistema de processos dentro de uma organização, em conjunto com a identificação das interações, designa-se por abordagem por processos. De acordo com o definido na NP EN ISO 9000:2015, processo é um conjunto de atividades inter-relacionadas

que utiliza entradas para disponibilizar um resultado pretendido. A abordagem por processos possibilita a visibilidade e controlo sobre pequenas partes da organização. O princípio será: controlando as partes consegue-se controlar, de forma mais eficaz, o todo ou, pelo menos, aspetos importantes do todo. Esta abordagem, enfatiza a importância de entender e ir ao encontro de requisitos, da necessidade de considerar os processos em termos de valor acrescentado, de gerir a obtenção de resultados e, conseqüentemente, da melhoria contínua baseada na medição de objetivos.

A NP EN ISO 9001:2015 prevê a aplicação desta abordagem na gestão da qualidade da organização. No entanto, não existe nenhum modelo de abordagem obrigatório, pelo que, cada organização deverá definir a que considerar mais adequada à sua realidade e objetivos (Pinto & Soares, 2018). Assim, como requisitos gerais existem também os processos que são necessários à implementação do SGQ e que se encontram identificados no Mapa de Processos da Águas de Coimbra, E.M., o qual define também a sequência e interação entre eles. Estes processos identificados são:

- P1 – Planeamento, Projeto e Construção;
- P2 – Projetos Prediais e Ramais;
- P3 – Exploração de Infraestruturas de Água e de Saneamento;
- P4 – Manutenção de Infraestruturas de Água e Saneamento;
- P5 – Gestão Comercial;
- P6 – Gestão de Compras e Existências;
- P7 – Gestão de Recursos Humanos;
- P8 – Melhoria;
- P9 – Gestão Estratégica.

Mais uma vez se torna notório que as atividades durante o estágio se enquadram no Processo P8.

A identificação e caracterização de processos define para cada um deles as entradas, saídas, processos de interação e responsáveis. A interação de processos do SGQ encontra-se evidenciada no mapa de processos do SGQ. Este mapa é esquematizado na Figura 2.5 que evidencia a sua integração (Silva & Santos, 2016).

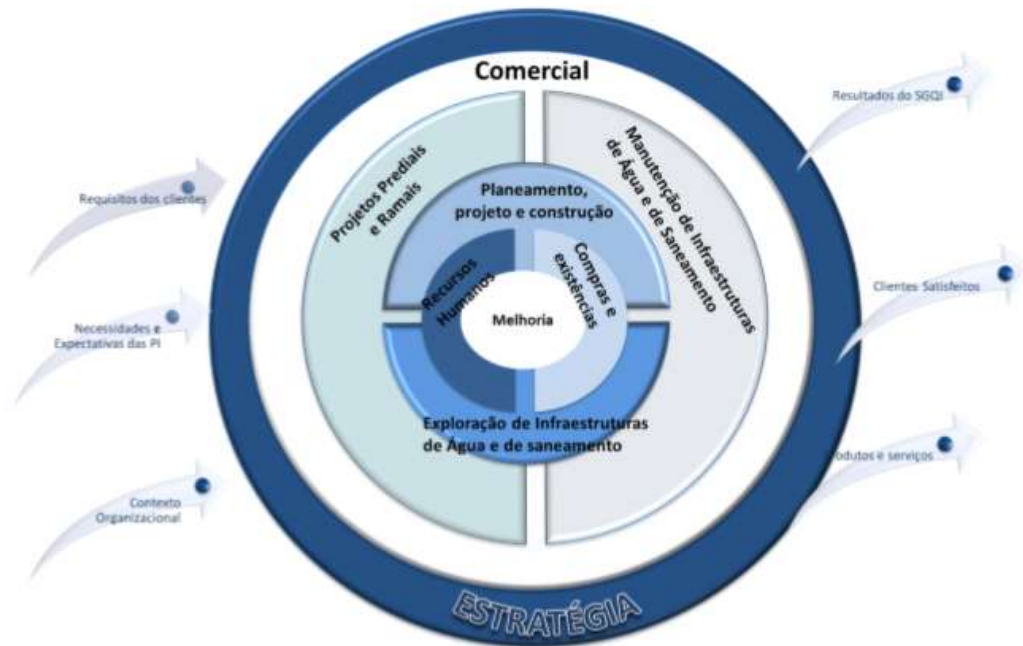


Figura 2.5 - Mapa de Processos de SGQ (retirado de Silva & Santos, (2016)).

O mapa em causa representa os processos que a organização considera serem os apropriados para explicar as suas principais atividades. Este mapa deverá ser lido como uma gota vista de cima e evidencia a ligação de todos os processos e a sua importância para a organização (Silva & Santos, 2016). A medição do desempenho dos processos da Águas de Coimbra, E.M. é efetuada através da sua monitorização e/ou medição, de modo a assegurar que a sua operação e controlo são eficazes.

Já conhecendo os requisitos da NP EN ISO 9001:2015 e os processos da Águas de Coimbra, E.M., na Tabela 2.1 e Tabela 2.2 é apresentada a tabela da interação dos processos com os requisitos normativos.

Tabela 2.1 - Interação dos processos com os requisitos normativos (retirado de Silva & Santos, (2016)).

| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|----------|--|-----------------------------------|----------------------------|--|--|-----------|---------------------------------|--------------|----------|--------------------|
| | | Planeamento, Projeto e construção | Projetos prediais e ramais | Exploração de infraestruturas de águas e de saneamento | Manutenção de Infraestrutura de água e de saneamento | Comercial | Gestão de compras e existências | Gestão de RH | Melhoria | Gestão Estratégica |
| 1 | Objetivo e campo de aplicação | | | | | | | | | |
| 2 | Referências normativas | | | | | | | | | |
| 3 | Termos e definições | | | | | | | | | |
| 4 | Contexto Organização | | | | | | | | | |
| 4.1 | Compreender a organização e o seu contexto | | | | | | | | | |
| 4.2 | Compreender as necessidades e as expetativas das partes interessadas | | | | | | | | | |
| 4.3 | Determinar o âmbito do sistema de gestão da qualidade | | | | | | | | | |
| 4.4 | Sistema de gestão da qualidade e respetivos processos | | | | | | | | | |
| 5 | Liderança | | | | | | | | | |
| 5.1 | Liderança e compromisso | | | | | | | | | |
| 5.1.1 | Generalidades | | | | | | | | | |
| 5.1.2 | Foco no cliente | | | | | | | | | |
| 5.2 | Política | | | | | | | | | |
| 5.2.1 | Estabelecer a política da qualidade | | | | | | | | | |
| 5.2.2 | Comunicação da política da qualidade | | | | | | | | | |
| 5.3 | Funções, responsabilidades e autoridades organizacionais | | | | | | | | | |
| 6 | Planeamento | | | | | | | | | |
| 6.1 | Ações para tratar riscos e oportunidades | | | | | | | | | |
| 6.2 | Objetivos da qualidade e planeamento para os atingir | | | | | | | | | |
| 6.3 | Planeamento das alterações | | | | | | | | | |
| 7 | Suporte | | | | | | | | | |
| 7.1 | Recursos | | | | | | | | | |
| 7.1.1 | Generalidades | | | | | | | | | |
| 7.1.2 | Pessoas | | | | | | | | | |
| 7.1.3 | Infraestrutura | | | | | | | | | |
| 7.1.4 | Ambiente para a operacionalização dos processos | | | | | | | | | |
| 7.1.5 | Recursos de monitorização e medição | | | | | | | | | |
| 7.1.6 | Conhecimento organizacional | | | | | | | | | |
| 7.2 | Competências | | | | | | | | | |
| 7.3 | Consciencialização | | | | | | | | | |
| 7.4 | Comunicação | | | | | | | | | |
| 7.5 | Informação documentada | | | | | | | | | |

Tabela 2.2 - Interação dos processos com os requisitos normativos - continuação (retirado de Silva & Santos, (2016)).

| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|-----------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 8 | Operacionalização | | | | | | | | | |
| 8.1 | Planeamento e controlo operacional | | | | | | | | | |
| 8.2 | Requisitos para produtos e serviço | | | | | | | | | |
| 8.2.1 | Comunicação com o cliente | | | | | | | | | |
| 8.2.2 | Determinação dos requisitos para produtos e serviços | | | | | | | | | |
| 8.2.3 | Revisão dos requisitos para produtos e serviços | | | | | | | | | |
| 8.2.4 | Alterações aos requisitos para produtos e serviços | | | | | | | | | |
| 8.3 | Design(1) e desenvolvimento de produtos e serviços | | | | | | | | | |
| 8.4 | Controlo dos processos, produtos e serviços de fornecedores externos | | | | | | | | | |
| 8.4.1 | Generalidades | | | | | | | | | |
| 8.4.2 | Tipo e extensão do controlo | | | | | | | | | |
| 8.4.3 | Informação para fornecedores externos | | | | | | | | | |
| 8.5.1 | Controlo da produção e da prestação do serviço | | | | | | | | | |
| 8.5.2 | Identificação e rastreabilidade | | | | | | | | | |
| 8.5.3 | Propriedade dos clientes ou dos fornecedores externos | | | | | | | | | |
| 8.5.4 | Preservação | | | | | | | | | |
| 8.5.5 | Atividades posteriores à entrega | | | | | | | | | |
| 8.5.6 | Controlo das alterações | | | | | | | | | |
| 8.6 | Libertação de produtos e serviços | | | | | | | | | |
| 8.7 | Controlo de saídas não conformes | | | | | | | | | |
| 9 | Avaliação do desempenho | | | | | | | | | |
| 9.1 | Monitorização, medição, análise e avaliação | | | | | | | | | |
| 9.1.1 | Generalidades | | | | | | | | | |
| 9.1.2 | Satisfação do cliente | | | | | | | | | |
| 9.1.3 | Análise e avaliação | | | | | | | | | |
| 9.2 | Auditoria interna | | | | | | | | | |
| 9.3 | Revisão pela gestão | | | | | | | | | |
| 10 | Melhoria | | | | | | | | | |
| 10.1 | Não conformidade e ação corretiva | | | | | | | | | |
| 10.2 | Melhoria contínua | | | | | | | | | |

Após analisar os requisitos da NP EN 9001:2015 e, de acordo com os objetivos do presente estágio, apenas serão estudados e detalhados três dos dez requisitos normativos do MQ da Águas de Coimbra, E.M.: 7. Suporte, 9. Avaliação do desempenho e 10. Melhoria. A seguir analisam-se os requisitos em causa.

2.1.3 Requisito 7 da NP EN 9001:2015 – Suporte

Para obter os resultados pretendidos no requisito 7 da NP EN 9001:2015, a organização deve determinar e disponibilizar os recursos, internos e externos, necessários para a operação e controlo dos processos, a garantia da conformidade dos produtos e serviços e a eficácia do sistema. Para isso, o referido requisito assenta nos seguintes requisitos:

7.1 Recursos

7.1.1 Generalidades

7.1.2 Pessoas

7.1.3 Infraestrutura

7.1.4 Ambiente para a operacionalização dos processos

7.1.5 Recursos de monitorização e medição

7.1.6 Conhecimento organizacional

7.2 Competências

7.3 Consciencialização

7.4 Comunicação

7.5 Informação documentada.

Nas organizações os recursos (requisito 7.1 NP EN 9001:2015) são essenciais para atingir os objetivos pretendidos. Assim, é necessário considerar as aptidões e as limitações dos recursos que a organização dispõe internamente e definir o que é necessário subcontratar a fornecedores externos.

A organização deve discriminar, obter e preservar as infraestruturas (requisito 7.1.2 da NP EN 9001:2015) de modo a garantir a qualidade dos produtos e serviços. Segundo a definição da ISO 9000:2015 para o requisito 7.1.4, o ambiente para a operacionalização dos processos é “*o conjunto das condições sob as quais o trabalho é executado*” e acrescenta que as “*condições podem incluir fatores físicos, sociais, psicológicos e ambientais (tais como temperatura, iluminação, metodologias de reconhecimento, stress ocupacional, aspetos ergonómicos e composição do ar atmosférico).*”

De acordo com o objetivo do presente relatório, dentro do requisito 7 da NP EN 9001:2015, o estudo foca-se especialmente na seção 7.1.5 relativo aos recursos de monitorização e medição, onde se abordam os métodos de monitorização e medição que são usados para validar a conformidade do produto e do serviço. Devem ser identificados os recursos necessários para garantir resultados robustos e fiáveis, que garantam a conformidade do produto. Estes recursos podem compreender instrumentos de medição, tais como balanças, etc. No presente caso de estudo, o equipamento a controlar são contadores de água, que têm associado um sistema de leitura (digital ou analógica).

É importante clarificar resumidamente os conceitos de monitorização e medição segundo a ISO 9000:2015. A monitorização é a determinação do estado de um sistema, processo, produto ou serviço. A medição é o processo para determinar um valor. No contexto de trabalho apresentado a rastreabilidade da medição é um requisito; do ponto de vista legal é parte essencial para proporcionar confiança na validade dos resultados das medições e para isso o equipamento de medição deve ser verificado ou calibrado, ou ambos, em intervalos especificados de tempo usando padrões de medição rastreáveis a padrões de medição internacionais ou nacionais. Assim, talvez seja relevante diferenciar os conceitos de verificação e calibração. A verificação refere-se ao fornecimento de evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados. Como resultado de uma verificação é conhecido o erro face a um padrão. A incerteza não é estimada. A calibração divide-se em

duas etapas, na primeira relacionam-se os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões com as incertezas medidas. Na segunda etapa, utiliza-se a informação obtida para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação (APCER, 2015).

No mundo atual com o avanço do conhecimento, as organizações enfrentam novas necessidades e desafios. Neste quadro, elas devem ter noção do estado dos seus conhecimentos atuais e determinar como atingir as atualizações requeridas. As organizações devem ainda determinar as competências necessárias das pessoas que executam tarefas e determinam o desempenho e eficácia do SGQ (Tricker, 2016).

O requisito 7.3 da NP EN 9001:2015 refere que a organização deve garantir que os seus funcionários conhecem a política de qualidade, os objetivos da qualidade relevantes e que estão cientes do seu contributo para a eficácia do sistema de gestão da qualidade, bem como, das implicações da não conformidade com os requisitos. Em termos de comunicação, a organização deve definir quais as comunicações necessárias internas e externas, de modo a garantir um bom funcionamento do SGQ.

Para que o Sistema de Gestão da Qualidade funcione de forma correta e com fluidez, este deve incluir toda a informação documentada requerida pela norma NP EN 9001:2015. Todos os documentos criados e atualizados devem incluir a sua identificação e descrição, formato e suporte, assim como a revisão e aprovação em termos de pertinência e adequação. Toda a informação deve estar disponível para utilização onde e quando for necessária, assim como se deve assegurar a sua proteção em termos de confidencialidade e de integridade (Tricker, 2016). Dos processos apresentados no mapa de processos da Águas de Coimbra, E.M., foca-se agora o Processo 8 (P8) – Melhoria; o seu objetivo é gerir e monitorizar os recursos necessários à operacionalização da organização e do sistema de gestão com vista ao cumprimento dos requisitos legais e estatutários, requisitos do cliente, avaliação periódica dos resultados e eficácia dos sistemas (Silva & Santos, 2016). No Processo 8 – Melhoria destacam-se os seguintes subprocessos:

- Documentação;
- Auditorias;
- Equipamento de Monitorização;
- Contadores;
- Segurança e Saúde no Trabalho;
- Informática;
- Gestão de Ativos.

A identificação e caracterização por processos define para cada um deles as entradas, saídas e os processos de interação. Assim, na Tabela 2.3 são identificadas as entradas e saídas de cada subprocesso do P8 – Melhoria.

Tabela 2.3 - Entradas e Saídas do P8 – Melhoria (retirado de Silva & Santos, (2016)).

| Entradas | Saídas |
|---|---|
| Documentação | |
| SG ↗ Necessidade de nova / alteração documentação interna e externa | SG ↘ Documentos do sistema controlados e acessíveis |
| SG ↗ Registos do sistema | SG ↘ Registos do sistema controlados |
| | SG ↘ Dados analisados |
| PI ↗ Exigências legais | SG ↘ Cumprimento das exigências legais |
| SG ↗ Objetivos definidos | SG ↘ Objetivos monitorizados e medidos |
| SG ↗ Oportunidades de melhoria | SG ↘ Oportunidades de melhoria implementadas |
| Tratamento de Não Conformidades | |
| SG ↗ Não Conformidades | SG ↘ Não Conformidades resolvidas |
| Auditorias | |
| P8 ↗ Plano de auditorias | SG ↘ Auditorias efetuadas |
| | SG ↘ Relatórios de auditorias |
| | SG ↘ Implementação de ações |
| EMM | |
| SG ↗ Plano de calibrações/verificações | SG ↘ EMM calibrados/verificados |
| Contadores | |
| P5 ↗ Substituição/Levantamento de Contador Cliente ↗ Pedidos de Verificação de Contador por Clientes | P5, P9 ↘ Contador Verificado/abatido |
| SST | |
| Colaborador ↗ Perigos e Riscos inerente à atividade | SG ↘ Perigos e Riscos geridos |
| Informática | |
| SG ↗ Necessidade de hardware/ software | SG ↘ Hardware/Software adequado |
| Colaborador ↗ Pedido de assistência técnica | SG ↘ Equipamentos e aplicações operacionais |
| Comunicação interna | |
| Colaborador ↗ Informações/sugestões | SG ↘ Sugestões tratadas |
| SG ↗ Informação diversa | SG ↘ Informação divulgada/transmitida |
| Gestão de ativos | |
| SG ↗ Ativos | SG ↘ Ativos geridos |

A relação entre P8 - Melhoria e o sétimo requisito da NP EN 9001:2015 - Avaliação do Desempenho, assegura o planeamento e implementação dos processos de monitorização, medição, análise e melhoria.

2.1.4 Requisito 9 da NP EN 9001:2015 – Avaliação do Desempenho

Este requisito da NP EN 9001:2015 pretende que se assegure o planeamento e implementação dos processos de monitorização, medição, análise e avaliação. Estes, por sua vez, produzem dados e informação que podem estar na base da criação de fatores críticos para a organização

(APCER, 2015). A estrutura do presente requisito é detalhada de seguida, relativamente aos subprocessos que o constituem.

9.1 Monitorização, medição, análise e avaliação

9.1.1 Generalidades

9.1.2 Satisfação do cliente

9.1.3 Análise e avaliação

9.2 Auditoria interna

9.3 Revisão pela gestão

Para a correta implementação do requisito 9 da NP EN 9001:2015 é importante que a organização determine o que é necessário ser monitorizado e medido, assim como, quais os métodos de monitorização, medição, análise e avaliação necessários, por forma a garantir resultados válidos, requisito 9.1.1 da NP EN 9001:2015. Em termos de satisfação do cliente, requisito 9.1.2 da NP EN 9001:2015, deve ser monitorizada a satisfação do cliente quanto à medida em que as suas necessidades e expetativas foram satisfeitas. Uma parte considerável do trabalho enquadrado no presente estágio debruça-se neste subprocesso. A organização deve também analisar e avaliar todas as informações geradas pela monitorização. Dessa forma, será possível avaliar, por exemplo, a conformidade de produtos e serviços, o grau de satisfação do cliente e o desempenho e eficácia do SGQ, requisito 9.1.3 da NP EN 9001:2015. É dever da organização proporcionar auditorias internas em intervalos planeados de modo a partilhar informações do SGQ e melhorar a performance do sistema, requisito 9.2 da NP EN 9001:2015.

O requisito 9.3 da NP EN 9001:2015 determina que a gestão de topo, deve proceder à revisão do sistema de gestão da qualidade regularmente, de modo a assegurar o seu correto funcionamento, bem como garantir que se encontra adequado e alinhado com a orientação estratégica (Tricker, 2016).

2.1.5 Requisito 10 da NP EN 9001:2015 – Melhoria

A melhoria deve ser um objetivo contínuo da organização. Assim a gestão de conhecimento deve considerar e integrar as oportunidades de melhoria identificadas (APCER, 2015). O requisito aqui detalhado, apresenta a seguinte estrutura de subprocessos:

1.1 Generalidades

1.2 Não conformidades e ações corretivas

1.3 Melhoria contínua

O requisito 10.1 da NP EN 9001:2015 defende que a organização deve implementar quaisquer ações necessárias para garantir a satisfação dos clientes. Assim, podem ser incluídas melhorias dos produtos e serviços, correção ou redução de efeitos não desejados e melhoria do desempenho e da eficácia do SGQ. Sempre que ocorra uma não conformidade, a

organização deverá tomar medidas para a controlar e corrigir, ou se não for possível a sua correção, lidar com as consequências. O requisito 10.2 da NP EN 9001:2015 refere também que devem ser tomadas ações de modo a eliminar as causas da não conformidade, de modo a que esta não se repita. Devem, assim, ser implementadas ações necessárias à colmatação das não conformidades, revisão da eficácia das ações corretivas, e se necessário, efetuar alterações no SGQ. A organização deve ainda documentar informação como evidência da natureza das não conformidades e de quaisquer ações subsequentes, bem como os resultados de qualquer ação corretiva. O SGQ deve ser eficaz e pertinente. Dessa forma, o requisito 10.3 da NP EN 9001:2015 refere que a organização deve melhorar de forma contínua o SGQ (Pinto, 2017).

2.2 Trabalho realizado

Tendo-se analisado o SGQ da Águas de Coimbra, E.M., com especial foco nos Procedimentos onde se desenvolveu trabalhos, apresentam-se nesta seção as atividades desenvolvidas de apoio ao SGQ numa base diária.

O objetivo do presente estágio foi adquirir conhecimento e experiência na área de qualidade através da norma EN ISO 9001:2015 e processos metrológicos ao nível da verificação de equipamentos por via de ensaios internos. Assim, inicialmente foi necessário haver uma familiarização com a empresa, as suas infraestruturas e recursos humanos. Numa segunda fase, começou por se ter uma perceção do SGQ e da sua relação com a estrutura organizacional, assim como por analisar a estrutura do Manual da Qualidade e os principais procedimentos.

Começou-se por abordar o acompanhamento realizado no âmbito de auditorias, pois foi o primeiro impacto na compreensão do SGQ e do enquadramento na organização. A Águas de Coimbra, E.M. é normalmente auditada de duas formas distintas. Isto é, interna e externamente. A primeira auditoria é realizada por um auditor escolhido pela própria empresa e são examinados detalhadamente todos os requisitos da norma NP EN ISO 9001:2015 e a legislação aplicável ao sector: auditoria interna. A segunda é uma auditoria externa que é realizada por uma entidade certificadora. No presente estágio, tive o privilégio de numa fase inicial, acompanhar e analisar o relatório de uma auditoria externa com o intuito de ficar a conhecer o contexto do SGQ da organização, analisar as ações corretivas e oportunidades de melhoria propostas para cada requisito e ao mesmo tempo contribuir para a preparação da auditoria externa a levar a cabo pela SGS (*Société Générale de Surveillance*) que iria acompanhar posteriormente. O objetivo da auditoria externa da SGS passou por confirmar que o sistema de gestão cumpria todos os requisitos da(s) norma(s) de referência, assim como se os requisitos estão efetivamente implementados e são mantidos. Posteriormente às auditorias analisou-se o relatório, fundamentalmente as oportunidades de melhoria, pois não houve ações corretivas propostas. O acompanhamento foi importante para a perceção da relevância da documentação e qual o objetivo de vários procedimentos. Como acompanhei a auditoria externa numa fase inicial do estágio foi possível, essencialmente, integrar fisicamente todos

os processos existentes na empresa e fazer a correspondência dos conhecimentos tidos com a experiência adquirida ao longo da auditoria. Posteriormente à auditoria externa analisou-se e discutiu-se o seu relatório. O objetivo passou por avaliar se todos os requisitos da qualidade estão a ser cumpridos e em caso de não cumprimento, determinar as causas e a forma de alcançar os resultados pretendidos. Nesta abordagem é importante que sejam implementadas as oportunidades de melhoria que potencialmente asseguram a melhoria da eficiência do SGQ enquanto ferramenta de resolução de problemas.

O trabalho realizado no âmbito da melhoria do SGQ refere-se essencialmente à melhoria documental, tal como à adequação de Instruções de Trabalho (IT) e Procedimentos Gerais (PG). Nomeadamente, foi feita a melhoria da Instrução de Trabalho “Gestão de Contadores de Água” e “Controlo Metrológico de Contadores de Água” e do Procedimento Geral “Gestão de Ativos Verticais e Património”.

A Águas de Coimbra, E.M. tem um laboratório de contadores qualificado pelo IPQ (Instituto Português da Qualidade) que está qualificado para proceder à primeira verificação na qualidade de reparador/instalador de contadores de água limpa, fria ou quente, para uso doméstico, comercial ou industrial. No âmbito do requisito 7.1.5 Recursos de monitorização e medição surgiu a necessidade de controlar as verificações e de realizar estudos relativos aos contadores de água. Esta tarefa está já interligada com o problema elencado no capítulo 1 como sendo o principal a tratar no âmbito do estágio. Talvez a maioria dos recursos humanos da organização não considere que a verificação do contador de água seja um critério de exigência legislativa e exigência contratual com o cliente. O que se pretende com este estudo é evidenciar como várias variáveis distintas podem afetar a condição de medição de um contador de água, daí a importância de desenvolver estudos que analisem e verifiquem o erro de medição. Nos primeiros meses de estágio, o trabalho principal focou-se em ensaios laboratoriais e de análise de dados históricos face ao estado do conhecimento. O objetivo principal passou por desenvolver:

- a) ensaiar e estudar contadores de água de três marcas diferentes para analisar o efeito da marca na incerteza;
- b) ensaiar e estudar contadores reparados vs. contadores novos para analisar o efeito da reparação na incerteza;
- c) ensaiar e estudar contadores de calibre 15 mm vs. 20 mm para analisar o efeito do caudal na incerteza;
- d) estudar a degradação de contadores com o tempo;
- e) calcular a repetibilidade da operação de verificação no laboratório da Águas de Coimbra, E.M.

Parte considerável deste trabalho está centrado na resolução do problema de verificação e será apresentado no Capítulo 4. A base de conhecimento teórico que lhe serviu de fundamento é apresentada no Capítulo 3.

Em ligação ao laboratório de contadores, foram desenvolvidos outros trabalhos para além dos estudos mencionados anteriormente. A Águas de Coimbra, E.M., no âmbito do seu laboratório qualificado realiza ensaios de verificação para empresas externas. Nesse sentido, acompanhou-se a realização de diversos ensaios para empresas externas e elaborou-se folhas de cálculo do erro para cada ensaio de verificação. Ainda ao nível da reparação de contadores foi elaborada a listagem de contadores para abate, onde era necessário definir o seu estado, para o que se usou o programa informático “U@Cloud”.

Nos últimos meses de estágio, o trabalho desenvolvido foi de apoio ao sistema de gestão de telemetria. Com o propósito de melhorar a qualidade de serviço aos seus clientes e introduzir novas metodologias que confirmam uma garantia da eficácia e melhoria da eficiência na gestão dos seus processos, a Águas de Coimbra, E.M., investiu na instalação de contadores com telemetria. A telemetria permite que as leituras dos consumos nos contadores sejam efetuadas à distância, através de equipamentos de medição preparados. Este método possibilita leituras frequentes e fiáveis e evita as estimativas de consumo ou a necessidade de comunicação de leituras por parte do cliente, bem como as faturas desfasadas no tempo, permitindo ao cliente, o pagamento mensal do volume realmente consumido (Inova, E.M., 2014). O sistema de telemetria permite ainda, a monitorização dos consumos e a rápida deteção de consumos anormalmente altos, em caso de fuga na rede predial do cliente. Numa fase inicial, foi possível a familiarização com o método e com o sistema informático que gere o sistema de gestão de telemetria “MDM”. As atividades desenvolvidas no âmbito da telemetria passaram pelo apoio:

- a) à manutenção de informação do sistema de telemetria;
- b) à gestão dos alertas do sistema de telemetria, nomeadamente, fugas na rede predial, consumos em fraude, ausência de leituras, entre outros;
- c) ao controlo dos contadores instalados sem contrato ativo; e
- d) à monitorização do funcionamento do sistema de telemetria.

3 Revisão Bibliográfica

Este capítulo é dedicado à análise das bases teóricas que foram usadas na resolução do problema central, referido no capítulo 1 e cujas várias componentes foram listadas na seção 2.2.

3.1 Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento

As perdas de água nos sistemas de abastecimento são um dos principais problemas para as entidades gestoras. Altos níveis de perdas podem afetar significativamente a futura disponibilidade dos recursos hídricos, o consumo de energia associada à distribuição de água, a qualidade global do serviço ao cliente, os custos operacionais e dos ativos. Segundo a *International Water Association*, as perdas, segundo a sua natureza podem ser classificadas em dois tipos: perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais são originadas principalmente por rutura nas condutas, válvulas, reservatórios e outros elementos da rede. As perdas aparentes são originadas pelo furto de água pelos clientes, erros de medição dos contadores e erros de tratamento dos dados. Os volumes de água das perdas aparentes são geralmente menores do que as perdas reais; no entanto, tornam-se praticamente iguais quando se faz a comparação em termos de perda de receita para as empresas. Isto, porque um metro cúbico de água perdida numa rutura na rede tem um custo igual ao custo de produção. Pelo contrário, um metro cúbico de água fornecido a um cliente que não é medido pelo contador tem um custo para a entidade gestora igual ao preço de venda do último metro cúbico vendido. Num sistema de água adequadamente gerido, a principal causa das perdas aparentes é a imprecisão do contador de água. Neste sentido, a receita da entidade gestora depende fortemente da medição real dos medidores de água instalados (Arregui, Gavara, Soriano, & Jabaloyes, 2018).

Mesmo nos países desenvolvidos as perdas constituem uma das principais causas da ineficiência das entidades gestoras, podendo atingir valores na ordem dos 20 a 40% da água total que dá entrada no sistema (Sardinha, et al., 2017). Na Figura 3.1 mostram-se os valores representativos de perdas de água na rede de distribuição de Lisboa no ano de 2003.



Figura 3.1 - Perdas de água na rede de distribuição de Lisboa em 2003 (adaptado de Sousa, (2011)).

3.1.1 Perdas Aparentes

A caracterização das perdas aparentes corresponde a volumes de água não contabilizados, podendo, assim, corresponder a perdas económicas e comerciais. Segundo o balanço hídrico, as perdas aparentes dividem-se em duas componentes: consumo não autorizado e a imprecisão dos medidores de consumo, incluindo erros de medição e erros no tratamento dos dados. Este tipo de perdas são as mais difíceis de identificar, sendo alvo de planos de ação consecutivos. Para combater as perdas aparentes associadas à imprecisão dos contadores deve existir uma preocupação com a escolha do tipo de medidor, o seu dimensionamento e as condições de instalação, assim como, com a substituição adequada e regular dos contadores.

Ao longo do seu ciclo de vida, os contadores mecânicos tendem a exibir registos de sub- medição, que decorre, para além da degradação natural, por serem sujeitos a regimes de má utilização não previstos pelos fornecedores. Nestas condições, os contadores sobredimensionados tendem a sub-medir em condições de caudais baixos, podendo existir colossais discrepâncias entre a água medida e a que foi efetivamente consumida. Na imprecisão dos contadores existem vários fatores que podem contribuir para as perdas aparentes, nomeadamente:

- sub-medida causada por caudais baixos e baixa precisão devido à idade e uso excessivo;
- classe de precisão baixa;
- contador parado, avariado ou obsoleto;
- política inadequada de manutenção ou substituição.

Contudo, é certo que o fenómeno de sub-contagem integra, não somente as zonas de erros dos contadores em geral e os efeitos da sua deficiente manutenção, mas também as fugas nas redes domiciliárias dos clientes, que correspondem frequentemente a um caudal inferior ao caudal mínimo do contador (limite inferior da exatidão). Note-se o seguinte exemplo: o caudal de arranque de um contador de DN 15 mm (doméstico) é da ordem dos 3 L/h a 4 L/h, mas o seu caudal mínimo é de 15 L/h. Assim, existe uma fuga num autoclismo, que pode ser em média de 5 L/h a 8 L/h, e com grandes probabilidades de não ser registada ou, na melhor das hipóteses, ser só parcialmente registada. Neste sentido é importante referir que aquela fuga possa representar mais de 40 m³/ano por contador (Taborda, 1999). É, no entanto, de referir que o impacto das perdas também se faz sentir no consumidor e particularmente na imagem dele sobre o serviço. É neste contexto que para as entidades gestoras é crucial garantir a qualidade do serviço, a qual inclui a certeza do que é fornecido e por consequência do que é cobrado.

3.1.2 Indicadores de perdas aparentes

As perdas aparentes são o somatório dos volumes perdidos por erros de medição dos contadores. Atualmente, ainda não existe uma metodologia exata para calcular os volumes das perdas aparentes. No entanto, já foram estudadas algumas formas para estimar e apresentar indicadores. Uma das metodologias estudada e recomendada para estimar volumes de perdas proveniente dos erros de medição dos contadores é a realização de ensaios metrológicos a contadores retirados da rede de distribuição. Com a realização destes ensaios em laboratórios de ensaio devidamente qualificados é praticável estimar os erros de medição dos contadores instalados na rede. Estes tipos de ensaios devem ser sistemáticos e requerem uma amostra significativa de contadores instalados na rede, sendo regularmente determinado o erro de medição por tipo de contador, calibre, marca, modelo e idade. A título de exemplo, a Figura 3.2 representa os erros de medição obtidos num ensaio em laboratório, de uma amostra de contadores DN 15 mm, após diferentes períodos de serviço.

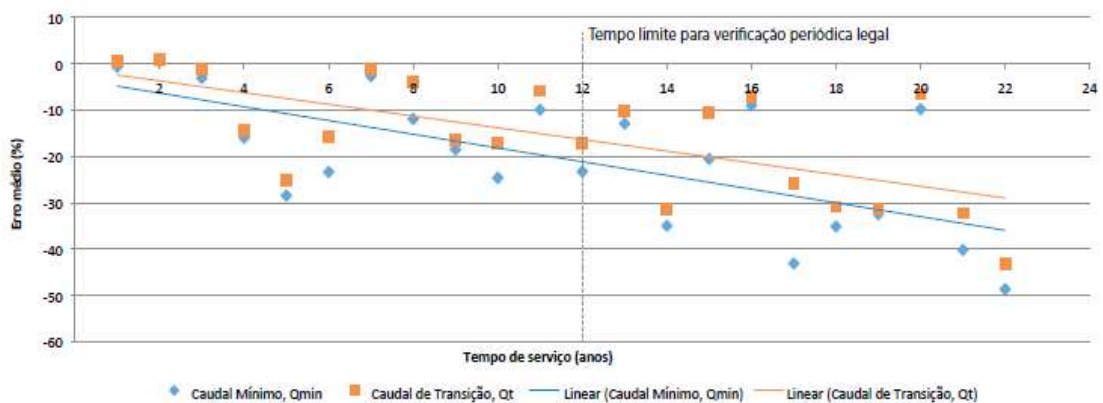


Figura 3.2 - Dinâmica dos erros de medição de contadores retirados de serviço (retirado de Sardinha, et al., (2017)).

Como se pode observar, é notório que este tipo de contadores é, de forma geral, afetado por erros de sub- medição que tendem a ser mais acentuados ao longo do tempo. Taborda (1999) também realizou ensaios laboratoriais onde estudou a variação média dos erros relativos de medição dos contadores em função dos caudais de ensaio, por grupos etários (tempo de colocação no mesmo local) (ver Figura 3.3).

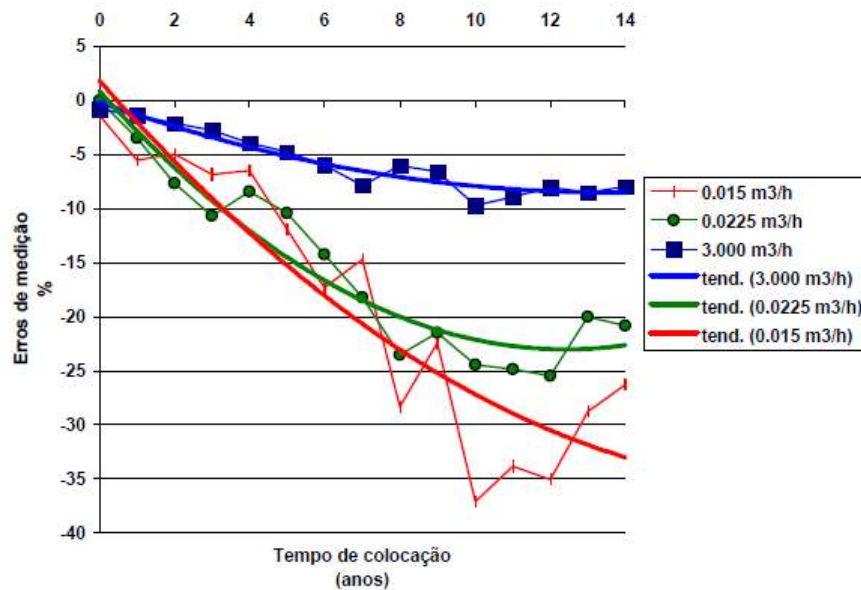


Figura 3.3 - Comportamento metrológico dos contadores segundo o tempo de colocação (retirado de Taborda, (1999)).

No estudo realizado, verificou-se que, de forma geral, os erros de sub-medição tendem a ser mais acentuados ao longo do tempo de vida do contador. Este quadro de tendências é expectável para a Águas de Coimbra E.M. e serão estudadas evidências que o comprovem ou refutem.

3.2 Erros de medição

Todos os equipamentos utilizados para medir o volume ou caudal de água, nomeadamente os contadores apresentam erros, sendo maiores ou menores consoante o princípio de medição utilizado. Os contadores apresentam erros quando os valores indicados são maiores ou menores do que o volume de água que realmente atravessou o contador. Estes erros são devidos a uma variedade de fatores que influenciam a qualidade de medição. Os principais fatores que influenciam a precisão dos contadores são: as suas características e princípio de funcionamento, a posição de montagem do contador; a influência dos sólidos em suspensão e/ou depositados; a qualidade da água; a pressão existente na rede; e, por vezes, a existência de depósitos controlados por boias que geram pequenos caudais e fazem com que os contadores funcionem em gamas de caudais abaixo dos valores para os quais são dimensionados.

A norma Portuguesa NP 2468 diz que os erros de medição devem ser calculados pela equação 3.1 onde os valores são obtidos a partir de ensaios realizados em laboratório:

$$E (\%) = \frac{(L_f - L_i) - V_{real}}{V_{real}} \times 100 \quad (3.1)$$

onde, E é o erro apresentado pelo contador em percentagem, L_i é a leitura inicial do contador antes do ensaio, L_f é a leitura final do contador após o ensaio, V_{real} é o volume efetivo passado pelo contador.

A Figura 3.4 apresenta uma imagem relativa ao instrumento que fornece a indicação sobre o volume real passado pelo contador num ensaio típico. Mais uma vez importa contextualizar que a caracterização dos erros de medida dos contadores não ocorre *in loco*, quando estes são retirados de serviço, são reparados, são verificados e reinstalados. Isto é, a caracterização do erro ocorre sempre associada à verificação e é conduzida no laboratório de metrologia.



Figura 3.4 – Instrumento que fornece o volume real passado pelo contador num ensaio típico (fonte: autor).

3.2.1 Medição de Caudais

De modo a compreender a medição de caudais, é pertinente abordar a questão pelo lado legislativo, visto que, tudo o que se refere a medições de serviços públicos deve estar regulamentado. A norma *Measurement Instruments Directive* (MID), Diretiva 2004/22/CE, introduziu uma nova abordagem para os contadores de água. Para facilitar a interpretação da nova legislação foi publicada a Norma Portuguesa NP 2938:2008. Atualmente os requisitos legais para os contadores de água encontram-se no Decreto-Lei n.º 45/2017, que estabelece as

regras aplicáveis à disponibilização no mercado e colocação em serviço dos instrumentos de medição, transpondo a Diretiva n.º 2014/32/UE, e a Diretiva Delegada (UE) n.º 2015/13.

3.2.2 Caudais característicos de um contador

Um contador é capaz de medir em regimes diferentes de caudal, desde o menor caudal (caudal mínimo) até ao maior caudal que pode suportar (caudal máximo). Seguidamente, para se melhor compreender os caudais característicos de um contador, são apresentadas algumas definições provenientes da norma NP 2938:2008:

- Caudal mínimo (Q_{\min} ou Q_1) – menor caudal ao qual o contador não deve exceder os erros máximos admissíveis ($\pm 5\%$);
- Caudal de arranque – menor caudal ao qual o dispositivo medidor entra e permanece em funcionamento contínuo;
- Caudal de transição (Q_t ou Q_2) – caudal ao qual os erros máximos admissíveis do contador mudam de valor (de $\pm 5\%$ para $\pm 2\%$, para água até $30\text{ }^\circ\text{C}$, ou $\pm 3\%$, para água a temperatura superior a $30\text{ }^\circ\text{C}$);
- Caudal nominal (Q_n) – caudal correspondente a metade do valor do caudal máximo. Pela antiga abordagem este caudal serve para designar o contador;
- Caudal permanente (Q_3) – caudal correspondente a 75% do caudal máximo. Pela nova abordagem este caudal serve para designar a classe do contador;
- Caudal máximo (Q_{\max} ou Q_4) – caudal mais elevado ao qual o contador deve poder funcionar sem deterioração, durante períodos limitados, e sem exceder os erros máximos admissíveis.

3.2.3 Curva de erros

A curva típica do erro (Figura 3.5 e Figura 3.6) de um contador representa o erro expresso percentualmente em função do caudal usado para a verificação. Tipicamente, ela deve estar na gama de $\pm 5\%$ para caudais entre o caudal mínimo (Q_{\min}) e o caudal de transição (Q_t) e de $\pm 2\%$ para caudais entre o caudal de transição e o caudal máximo (Q_{\max}). É notório que o intervalo que a enquadra tem uma descontinuidade em Q_t . A Figura 3.6 caracteriza as diferenças de operação.

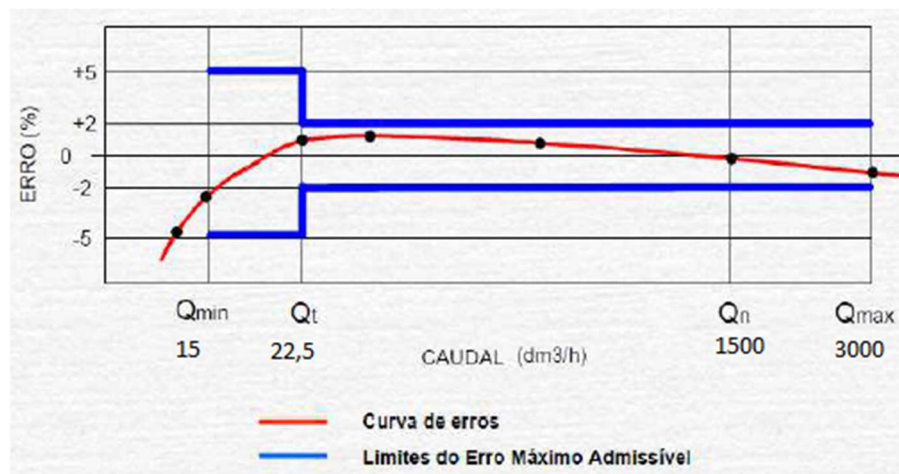


Figura 3.5 - Curva de erros típica de um contador volumétrico de DN 15 mm (adaptado de Frangipani, (2007)).

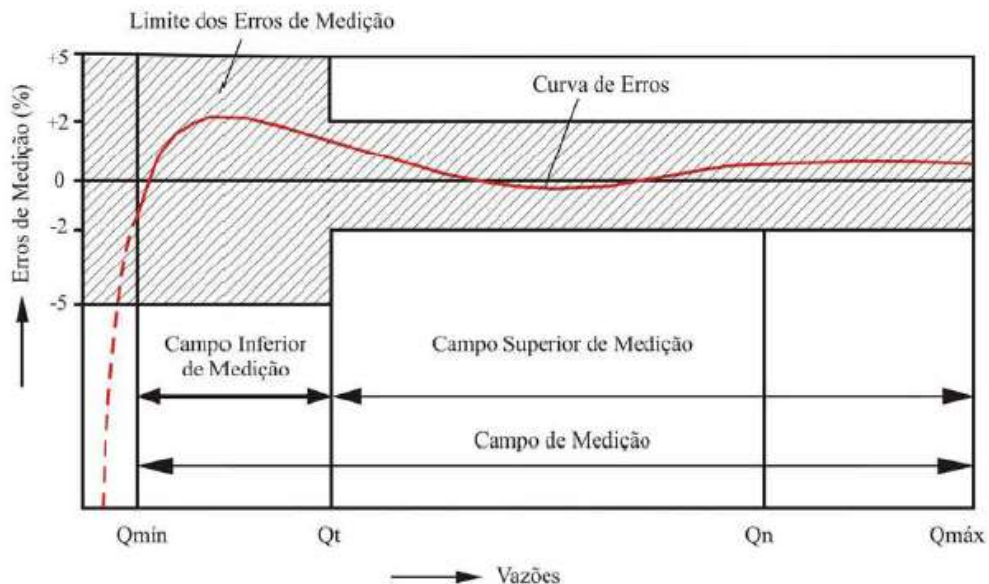


Figura 3.6 - Curva de erros típica (retirado de Alves, Peixoto, Sanchez, & Leite, (2004)).

Os valores negativos na curva de erros representam os erros negativos (sub-medição) e os valores positivos (sobre medição). A classe de exatidão de um contador varia conforme pertença à antiga ou à nova abordagem e avalia a capacidade que o contador tem de apresentar diferentes desempenhos ao longo da sua curva de erros.

Os contadores, segundo a antiga abordagem (Diretiva 75/33/CEE) dividem-se em três classes de exatidão: A, B ou C. A norma NP 2468/2007 apresenta uma classe extra mais precisa, designada Classe D. Na Figura 3.7 apresenta-se as principais características de cada uma das classes.

| | Classes Metrológicas | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|------|------|---------------------------------------|-------|
| | A | | B | | | | | C | | | D | |
| | Q _n (m ³ /h) | | Q _n (m ³ /h) | | | | | Q _n (m ³ /h) | | | Q _n (m ³ /h) | |
| | 5 | 10 | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 5 | 10 | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 1,5 | 2,5 |
| Q _{máx} (m ³ /h) | 10 | 20 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 |
| Q _t (dm ³ /h) | 500 | 1000 | 120 | 200 | 280 | 400 | 800 | 22,5 | 37,5 | 52,5 | 17,25 | 28,75 |
| Q _{mín} (dm ³ /h) | 200 | 400 | 30 | 50 | 70 | 100 | 200 | 15 | 25 | 35 | 11,25 | 18,75 |
| Q _s (dm ³ /h) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 3,94 | 6,56 |

Figura 3.7 - Comparação das diferentes classes metrológicas (retirado de IPQ, (2008)).

Tipicamente, as curvas obtidas em ensaios de aferição apresentam características semelhantes à curva apresentada na Figura 3.8. Observa-se que a linha correspondente ao ensaio do contador novo se enquadra dentro dos limites de erro superior e inferior, mas a linha correspondente ao teste encontra-se fora do limite inferior, sendo, assim, prejudicial para a entidade gestora.

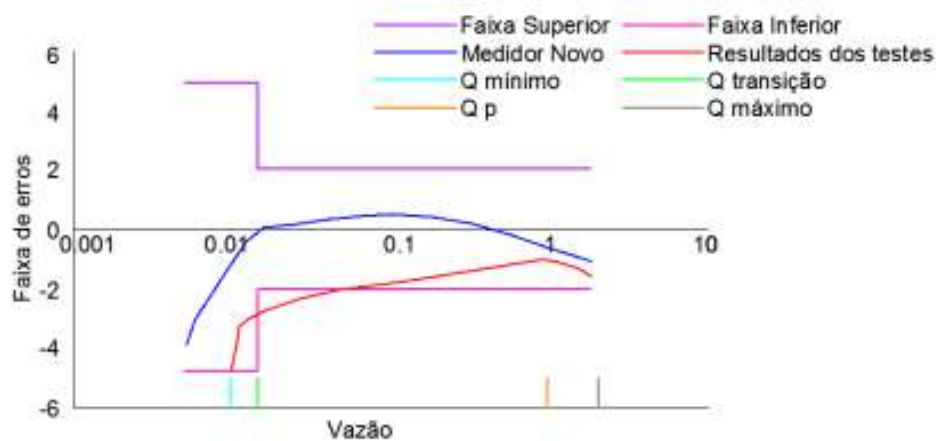


Figura 3.8 - Curva típica de exatidão de contadores de água (retirado de Rizzo, Pearson, Stepheson, & Harper, (2004)).

3.2.4 Erros de sub-medição

Nas perdas aparentes há uma vertente específica designada de perdas por sub-medição, sendo que esta é uma das não conformidades mais frequentes, ocorrendo quando se analisa a

medição de água. As perdas por sub-medição advêm da incapacidade dos contadores para medir com exatidão consumos extremamente baixos, advindo perdas de faturação.

A sub-medição incorre numa situação de medição ineficiente e pode ser causada por diversas fontes, tais como, o incorreto dimensionamento do contador ou a inadequada tecnologia do medidor face ao regime dos caudais a medir, as inadequadas condições de instalação do equipamento ou, naturalmente, o envelhecimento ou degradação. Tais causas podem provocar perda de sensibilidade e, conseqüentemente, a contabilização de um menor volume de água do que aquele que realmente passou (APDA - Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, 2014).

As principais causas da sub-contagem em contadores devem-se a:

- *Classe metrológica*: inadequada para medição de determinados perfis de consumo;
- *Desgaste natural dos mecanismos internos*: o contador sendo constituído por componentes mecânicos, com o tempo e conseqüente uso, acaba por sofrer com o desgaste dos seus componentes;
- *Exposição a altas pressões*: a ocorrência de pressões acima das regulamentares contribui para o desgaste prematuro dos componentes internos dos contadores;
- *Instalação inadequada dos contadores*: normalmente são instalados desprotegidos, mal posicionados e muitas das vezes fora da posição correta de instalação;
- *Dimensionamento incorreto*: os contadores quando submetidos a caudais fora da sua classe podem apresentar menor sensibilidade na medição, tanto no caso de sobredimensionamento, quando o contador não é capaz de contabilizar pequenos caudais, como no caso de sub-dimensionamento, onde certamente ocorrerá desgaste prematuro do medidor;
- *Incrustações*: as diversas substâncias presentes na água tendem a incrustar no contador, ao nível do mecanismo móvel interno, prejudicando e alterando o seu bom funcionamento;
- *Sólidos em suspensão*: os contadores podem apresentar problemas relativamente aos sólidos em suspensão que, com o tempo, acabam por diminuir a sua sensibilidade em regimes de baixo caudal.

3.3 Análise do Sistema de Medição

Segundo o *Automotive Industry Action Group* (AIAG, 2010), “Sistema de Medição é o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, *software* e pessoal usado para atribuir um número à característica que está a ser medida; o processo completo usado para obter as medidas.”. A análise dos sistemas de medição é um método para determinar se um sistema de medição é aceitável. Este é um componente essencial para qualquer processo de melhoria da qualidade, onde avaliar o sistema de medida

tem o objetivo de evidenciar que ele é exato e preciso, e que está em conformidade com os requisitos da norma.

Os estudos de *ASM* focam-se em dois objetivos básicos:

1. conhecer as fontes de variação que têm maior influência nos resultados gerados pelo sistema de medição (operador, instrumento de medição, etc.);
2. verificar se o sistema de medição possui propriedades estatísticas compatíveis com as especificações.

3.3.1 Processo de medição

O processo de medição constitui uma fase importante da garantia e controlo de qualidade, envolvendo a definição de instrumentos de medição, suas técnicas e interpretação dos resultados. O processo de medição faz parte de uma área da ciência denominada Metrologia, que segundo O IPQ, (2012) é a “*ciência da medição e suas aplicações. Engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza da medição e o campo de aplicação*”. No processo de medição é importante conhecer a tolerância da medida associada ao processo. A tolerância de medição é definida como a máxima variação admitida pelas variáveis do processo. Para determinar se o valor de uma grandeza se encontra dentro de um intervalo de tolerância é necessário efetuar a sua medição. Deste modo, a escolha do sistema de medição adequado e a respetiva incerteza do erro de medição são fundamentais para garantir a qualidade.

3.3.2 Fontes da variação do processo

Um sistema de medição pode ser impactado por duas fontes de variação: a aleatória e a sistemática. Como qualquer outro processo, um sistema de medição está sujeito a variações de causa comum e de causa especial. Para controlar a variação do sistema de medição, deve-se identificar as fontes da variação; normalmente estas dividem-se em dois tipos: variação do valor central (associado a exatidão, tendência, estabilidade e linearidade) e variação da dispersão (associada a precisão, repetibilidade e reprodutibilidade). Analise-se de seguida cada uma destas fontes.

- **Exatidão:** Proximidade ao valor verdadeiro a um valor de referência. A ISO e a *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*) consideram exatidão como a junção entre tendência e precisão, como ilustrado na Figura 3.9. Ou seja, depende do grau de tendência e da precisão da medição;

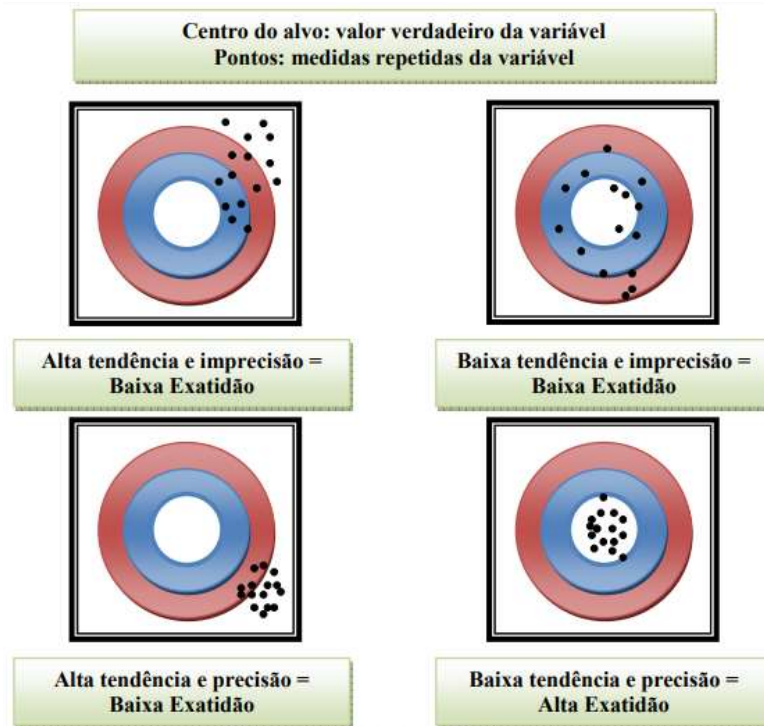


Figura 3.9 - Exatidão vs. tendência vs. precisão (retirado de Werkema, (2006)).

- **Tendência:** A tendência quantifica a diferença existente entre o valor real da característica medida e a média da distribuição dos resultados fornecidos pelo medidor. É uma parcela do erro total e é composta por efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas. As principais causas possíveis para uma tendência excessiva são: (i) a falta e/ou inadequada verificação do instrumento ou seu desgaste excessivo; (ii) o erro de linearidade;
- **Estabilidade:** A estabilidade consiste na variação total das medições obtidas com um sistema de medição aplicado sobre as peças quando é medida uma única característica durante um período de tempo prolongado. As principais causas possíveis da falta de estabilidade são o envelhecimento ou obsolescência de equipamentos, manutenção precária, etc;
- **Linearidade:** A linearidade mede a variação da tendência para diferentes valores de referência na faixa de interesse. A linearidade é avaliada via inclinação da reta formada pelos diferentes valores de referência em relação á respetiva tendência. Quanto menos inclinada a reta, maior será a estabilidade do sistema de medição, exemplo ilustrativo na Figura 3.10;

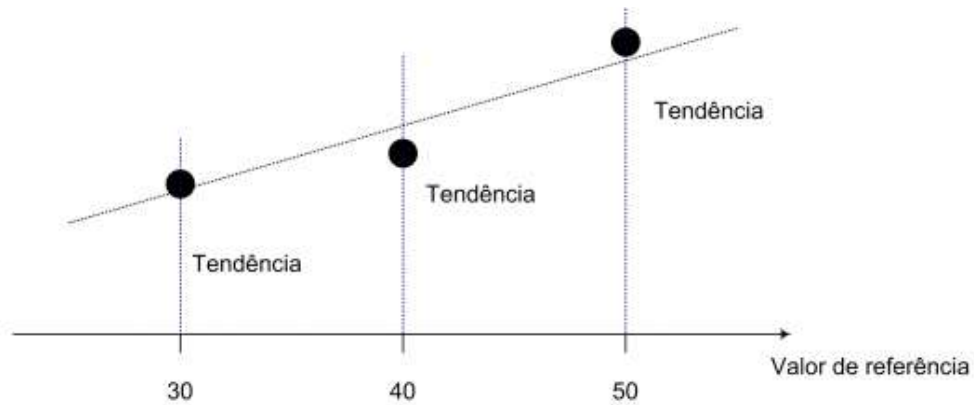


Figura 3.10- Exemplo da análise da linearidade (retirado de Portal Action, (2019)).

- **Precisão:** A precisão descreve o efeito líquido da discriminação, da sensibilidade e da repetibilidade ao longo do intervalo de operação de um sistema de medição. É frequentemente usada para descrever a variação esperada em repetidas medições feitas ao longo do intervalo de medição, que pode ser caracterizada em tamanho ou em tempo;
- **Repetibilidade:** É a variação inerente ao equipamento. Trata-se de uma variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de sucessivas medições feitas sob condições definidas. As condições de medição são fixas e definidas (peça, instrumento, padrão, método, operador, ambiente, entre outros). Por esta razão, a repetibilidade é também conhecida como a variação dentro do sistema. As principais causas de uma repetibilidade elevada são: variação da amostra, variação do instrumento, variação do padrão, variação do método, variação do avaliador (Pyzdek & Keller, 2010);
- **Reprodutibilidade:** pode ser definida como a variação da média das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento, sob as mesmas condições. Portanto, não é aplicável a sistemas automatizados. Por esta razão, a reprodutibilidade é também conhecida como a variação das médias entre sistemas ou entre condições de medição. As principais causas de erros de reprodutibilidade são similares às da repetibilidade, além da formação insuficiente dos operadores.

3.3.3 Estatística básica

Ao longo de todo o trabalho prático foi surgindo a necessidade de utilizar métodos de estatística básica, desse modo, é importante explicar alguns dos conceitos usados e evidenciar as suas bases conceituais. Estes conceitos estão vulgarmente incluídos numa área da estatística designada por Estatística Descritiva e visam caracterizar populações à custa de informação (métricas) extraídas de amostras (Reis, 2008). No caso de processos industriais é comum as populações conterem todas as alternativas potenciais de ocorrência das saídas de

informação num processo, enquanto que as amostras são parcelas extraídas para caracterização da população.

A informação estatística é hoje em dia tida como uma fonte de conhecimento crucial para a melhoria de um processo uma vez que ela configura um mais adequado controlo. Neste contexto, tipicamente, os processos industriais têm a si associada a aleatoriedade natural que decorre de fatores variados, apresentando-se, não como formas determinísticas, mas como distribuições de frequência de ocorrências. Face a este tipo de dados, é comum caracterizá-los pelo primeiro momento de distribuição, vulgarmente representado pela média, e pelo segundo momento, vulgarmente associado à variabilidade, e representado pelo desvio padrão (Negas, 2019).

Uma outra área da estatística de grande relevância a nível prático é a Estatística Inferencial, que consiste num conjunto de ferramentas teóricas que permitem validar/refutar uma hipótese para uma população a partir de informação disponível para uma amostra dela extraída (Graybill, Iyer, & Burdick, 1997).

Na prática a Estatística Inferencial consubstancia um conjunto de teste de hipóteses para medidas centrais e de dispersão de populações. Para além destes testes, existe uma outra classe que visa avaliar se duas distribuições de dados resultantes de dois processos de geração distintos são (ou não) iguais, o que indicia a similaridade (ou não) dos processos que as produziram. Um dos testes estatísticos mais comumente usado para testar a igualdade de duas distribuições é o teste de Kolmogorov-Sminov (K-S) (Albardeiro, Gama, & Chicharro, 2014). Basicamente, o teste baseia-se na comparação da diferença máxima entre as curvas cumulativas das distribuições após ordenamento, para um nível de significância, α , previamente definido e associado à potência do teste. Na prática, o teste compara o valor da medida de dissimilaridade (distância máxima entre as curvas cumulativas das duas distribuições após ordenamento) com um valor crítico para um grau de confiança definido. O resultado é a validação/rejeição da hipótese nula que estabelece a igualdade dos processos geradores de dados que lhe deram origem. A aceitação de H_0 é representada pelo símbolo binário 0 e a sua rejeição por 1.

3.4 Modelos de degradação

Esta seção introduz sumariamente dois modelos que podem ser utilizados para descrever a degradação do erro da medida ao longo do tempo.

3.4.1 Modelo com a forma de uma lei de potência

Neste contexto o erro de medida é considerado como equivalente a uma falha e o modelo usado é uma lei de potência (Arregui, Pardo, Soriano, & Parra, 2007). Isto é,

$$e(t) = e_0 + \beta_1 (t)^n \quad (3.2)$$

onde $e(t)$ é o erro de medida, e_0 , β_1 e n são constantes do modelo. Onde β_1 é a taxa de degradação, n a potência da lei e e_0 o erro do modelo. Especificamente, o modelo (3.2) é intrinsecamente não linear e o seu ajuste requer a resolução do problema de otimização não linear, o que o torna algo mais complexo. Por outro lado, a estimativa dos intervalos de confiança para os parâmetros requer a matriz de sensibilidade, sendo mais complexa.

A parametrização do modelo (cálculos dos parâmetros e_0 , n e β_2) a partir de dados é feita pela minimização dos mínimos quadrados.

3.4.2 Modelo linear

Para descrever a degradação do erro de medida ao longo do tempo, foi também considerado o modelo linear (Searle & Gruber, 2006). Isto é,

$$e(t) = m t + b \quad (3.3)$$

onde, $e(t)$ é o erro da medida, m é a taxa de degradação, b é a degradação para $t = 0$ e t é a idade.

Na parametrização do modelo a partir de dados, o cálculo dos parâmetros m e b , é feito pela minimização dos mínimos quadrados. Deste modo,

$$\min_{m,b} \sum_{i=1}^N (e_i^e - e_i^r)^2 \quad (3.4)$$

$$\text{s.t. } e_i^e = m t_i + b \quad (3.5)$$

onde e_i^e é o valor estimado pelo modelo para a observação i e e_i^r é o valor real observado. Recorrendo a algoritmos matemáticos clássicos, o problema dos mínimos quadrados é solucionado (Helene, 2006). A aderência do modelo aos dados pode ser classificada segundo o valor do coeficiente de determinação, também chamado R^2 . Este é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, relativamente aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados para a variável de resposta. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra. Por exemplo, se o R^2 de um modelo é 0,99, isto significa que 99 % da variável dependente consegue ser explicada pelas regressões presentes no modelo (Dodge, 2008). Conhecendo os parâmetros do modelo e o desvio padrão do erro podem determinar-se os intervalos de confiança para os parâmetros e assim quantificar a incerteza. Tal é feito com base em métodos perfeitamente estabelecidos na literatura (Duarte & Pereira, 2010). É de notar que o modelo linear é sem dúvida estruturalmente mais simples e fácil de ajustar. No entanto, o modelo (3.2) é mais vulgarmente usado para desenvolver a degradação de sistemas (Arregui, Pardo, Soriano, & Parra, 2007). Na prática, este modelo é da família dos modelos de Weibull vulgarmente usados para representar a fiabilidade de sistemas.

Neste trabalho, o modelo usado foi, no entanto, o modelo linear e as razões para essa escolha foram: i) a sua simplicidade e prática interpretação; ii) a facilidade de se calcularem intervalos de confiança; e iii) a análise visual previa que evidenciou uma baixa correlação dos dados, o que indicia que um modelo com reduzido número de parâmetros terá um desempenho explicativo baixo, independentemente da sua estrutura.

3.5 Ferramentas de Análise do Sistema de Medida

Nesta seção apresentam-se as bases conceptuais das ferramentas usadas na Análise do Sistema de Medida, bem como as técnicas estatísticas de tratamento de dados. É de notar, que as ferramentas de ASM aqui usadas são adaptadas ao controlo da verificação de medidores.

Nos processos de uma organização a confiabilidade dos dados de um sistema de medição é um fator de extrema relevância. Deste modo, para que o controlo dos processos do sistema de medição seja efetivo, é necessário a adoção de ferramentas de *ASM* que identificam e respondem às fontes de variação, permitindo verificar se os sistemas de medição possuem características estatísticas compatíveis com as especificações do produto (Pyzdek & Keller, 2010).

A característica crítica de qualidade no âmbito do Sistema da Águas de Coimbra E.M. é o erro de medição de um contador de água, que é controlado através de três ensaios realizados no decorrer do processo de verificação. Nestes ensaios é variado o caudal, usando-se regularmente três pontos distintos: (i) caudal mínimo; (ii) caudal de transição; e (iii) caudal máximo. As técnicas utilizadas para descrever as variações do processo analisado são as de dispersão (repetibilidade e reprodutibilidade), que vulgarmente estão enquadradas em estudos de R&R. A análise de dispersão referente à reprodutibilidade não foi considerada, pois no processo de verificação só existe um colaborador e por isso o erro do elemento humano é desprezável.

3.5.1 Determinação da Repetibilidade e da Reprodutibilidade

Tendo em conta o âmbito do trabalho desenvolvido, as técnicas utilizadas para descrever as variações do processo analisado baseiam-se no cálculo da repetibilidade. Os métodos frequentemente usados para determinar a reprodutibilidade e a repetibilidade são:

1. baseados na gama das medidas;
2. baseados na gama e na média das medidas;
3. baseados em Análise de Variância (ANOVA).

No presente trabalho considera-se um método baseado na gama e na média das medidas, proposto e discutido pela AIAG, (2010). Relembre-se que o estudo se debruça apenas na repetibilidade, pois apenas um operador efetua as calibrações.

3.5.2 Método baseado na gama e na média das medidas

Esse método fornece uma estimativa da variabilidade das peças, e da repetibilidade, reprodutibilidade, etc.

Habitualmente o método assenta na efetuação de medições, designadas por $X_{i,j,l}$, onde $i \in \{1, \dots, n\}$, diz respeito aos operadores envolvidos no estudo, $j \in \{1, \dots, p\}$, corresponde às peças testadas e $l \in \{1, \dots, m\}$, refere-se ao número de vezes que cada operador mede cada peça. Considere-se que a média referente às medições de uma peça j por parte de um operador i se designa por $X_{i,j,\dots}$, a média das medições de um operador i relativas a cada réplica l é $X_{i,\dots,l}$, a média das observações referentes a cada operador genérico i é $X_{i,\dots}$, a média das medidas referentes a uma peça genérica j é $X_{.,j}$. Assim, $R_{i,j}$ é a gama das medições efetuadas (3.6) medidor i referentes a uma peça j e a gama das medidas referentes a uma peça genérica j é designada por $R_{.,j}$. Deste modo, para a repetibilidade, designada por EV , tem-se,

$$EV = \frac{\bar{R}}{\delta_1},$$

onde a constante δ_1 pode ser obtida no Anexo B, e depende do número de medidas (m), do número de peças (p) e do número de operadores (n).

O cálculo da reprodutibilidade não é efetuado, a equação para a sua avaliação é omitida.

$$R\&R = EV \quad (3.7)$$

O cálculo da variabilidade das peças (PV) é dado pela Equação (3.8).

$$PV = \frac{R_{.,j}}{\delta_3}, \quad (3.8)$$

onde δ_3 é igualmente tabelado no (Anexo B). Tendo os valores de $R\&R$ e PV já calculados, o cálculo da variabilidade total (TV) é dado pela Equação 3.9.

$$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2} \quad (3.9)$$

Existem outras metodologias para o tratamento de dados de estudos R&R. Entre elas está a Análise de Variâncias (ANOVA) e o uso da ferramenta gráficas tipicamente usadas em controlo estatístico. Estas têm a vantagem de apresentar os resultados graficamente (Castillo, 2002). Vulgarmente estas ferramentas usam uma carta de controlo de médias e de gamas, otimizadas para apresentar o erro do operador quando leva a cabo um conjunto de ensaios de medida (Ramos, Araújo, & Silvia, 2012).

3.5.3 Critérios de aceitação

Para o caso de erros de localização, os erros de tendência e linearidade são inaceitáveis se forem significativamente diferentes de zero ou se excederem o erro máximo estabelecido pelo procedimento de verificação do dispositivo de medição. Segundo a AIAG, (2010), quanto se trata de erros de dispersão, como regra geral de aceitação considera-se que:

- erros menores que 10% - são indicativos de sistema de medição aceitável;
- erros entre 10% e 30% - indicam que o sistema pode ser aceite com base na importância de sua aplicação, no custo de medição e nos seus custos de reparação;
- erros acima de 30% - indicam sistemas de medição inaceitáveis. Além disso, o número de categorias distintas (critério de discriminação) deve ser maior ou igual a 5.

4 Análise e Resolução do problema

O trabalho reportado neste capítulo focou-se na caracterização do erro de medida de contadores de água através de ensaios laboratoriais e análise de dados face ao conhecimento. O objetivo principal passou por calcular a repetibilidade, ensaiar e comparar contadores novos e reparados, ensaiar e comparar contadores de três marcas diferentes, ensaiar e comparar contadores de calibre 15 mm e 20 mm, e por fim, estudar o erro de medida em função da idade do contador.

Todos os ensaios levados a cabo foram realizados de forma similar, onde para cada um deles a recolha e análise de dados foi feita de forma análoga. De forma geral, para todos os estudos mencionados foram efetuados ensaios laboratoriais de uma amostra de contadores, a diversos caudais, com o mesmo operador.

O ensaio consiste, sumariamente, em fornecer um caudal a montante aos contadores que será monitorizado até ao valor pretendido, por exemplo de 22,5 L/h. Alcançado o caudal pretendido, fecha-se a válvula que alimenta a bancada (ver Figura 4.1) para serem retiradas as leituras iniciais (L_i) dos contadores. Seguidamente, a válvula é novamente aberta até se atingir o volume (L) da cuba indicado. Após a cuba atingir a sua capacidade, a válvula é desligada e são recolhidos os valores de:

- tempo, em segundos, que demorou até ser atingida a capacidade da cuba; de
- volume real da cuba, em litros; e de
- leituras finais (L_f) dos contadores, em litros (ver o esquema da Figura 4.2), para posterior cálculo do erro de medição.



Figura 4.1 - Amostra de contadores de água na rampa de ensaio (fonte: autor).



Figura 4.2 - Amostra de contador de água usado no ensaio (fonte: autor).

Tipicamente, no quadro da gestão documental do SGQ, os resultados são recolhidos para um boletim de ensaios mostrado no Anexo C. Os erros são calculados através da Equação 3.1.

4.1 Cálculo da Repetibilidade

Como primeiro objetivo ao nível da caracterização do sistema de medida calculou-se a repetibilidade da operação de verificação. Para tal, ensaiou-se uma amostra de trinta contadores de DN 15 mm aos caudais de 15 L/h, 22,5 L/h e 3000 L/h. Para cada caudal repetiu-se três vezes o ensaio, sendo o operador o mesmo. Conforme referido na seção 3.5.2, o método baseado na gama e na média das medidas foi usado para determinar a repetibilidade. Este método permite caracterizar: a variabilidade das peças, calculada através da Equação (3.8); a repetibilidade, calculada através da Equação (3.6); a reprodutibilidade e a repetibilidade associadas (R&R), calculada pela Equação (3.7); e, por fim, a variabilidade total, calculada pela Equação (3.9). Os critérios de classificação dos erros de medida foram estabelecidos na seção 3.4.3 e serão aqui usados como mecanismo de discriminação. Na Tabela 4.1 são apresentados os valores destes parâmetros aos caudais mencionados.

Tabela 4.1 - Caracterização da variabilidade, repetibilidade, (R&R) e a variabilidade total para os caudais de 15 L/h, 22,5 L/h e 3000 L/h.

| | Caudal 15 L/h | Caudal 22,5 L/h | Caudal 3000 L/h |
|------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Repetibilidade (EV) | 0,33 | 0,40 | 0,22 |
| R&R | 0,33 | 0,40 | 0,22 |
| Variabilidade das peças (PV) | 2,45 | 1,39 | 0,68 |
| Variabilidade total (TV) | 2,47 | 1,45 | 0,72 |
| Rácio R&R/TV | 0,13 | 0,28 | 0,61 |
| Rácio R&R/ TV (%) | 13,34 | 27,86 | 31,09 |

Pela análise da Tabela 4.1, verifica-se que para o caudal de 15 L/h e 22,5 L/h o rácio R&R/TV é de 13,34 % e 27,86 % respetivamente, encontrando-se no patamar dos 10 % e 30 % o que significa que o sistema de medição nestes caudais pode ser considerado aceitável com base na aplicação. Para o caudal de 3000 L/h, o rácio é de 31,09 %, sendo superior ao patamar dos 30 % o que significa que o sistema de medição necessita de melhorias.

Em suma, nenhum dos caudais ensaiados validam erros menores que 10 %. O sistema de verificação não garante a repetibilidade adequada para um dos caudais ensaiados, nomeadamente 3000 L/h.

4.2 Análise comparativa do erro de medição em contadores novos e reparados

No âmbito do presente estágio surgiu também a necessidade de avaliar o comportamento do erro de contadores de água reparados face ao comportamento do erro de contadores novos. Esta componente do estudo contemplou a realização de uma série de atividades, nomeadamente, o apoio na realização do ensaio, organização e análise dos dados. O objetivo é analisar e comparar o comportamento do erro de contadores usados que foram reparados. Para isso, realizou-se um estudo prático no laboratório da Águas de Coimbra, E.M., com o intuito de comparar o erro destas duas categorias de contadores.

Neste caso, o estudo consistiu no ensaio laboratorial de uma amostra de trinta contadores de calibre 15 mm da mesma marca, sendo quinze contadores novos e quinze contadores reparados. O ensaio foi realizado aos caudais de 4 L/h, 6 L/h, 8 L/h, 12 L/h, 15 L/h, 22,5 L/h, 50 L/h, 75 L/h, 100 L/h, 175 L/h, 250 L/h, 375 L/h, 500 L/h, 750 L/h, 1000 L/h, 1500 L/h, 2000 L/h, 2500 L/h e 3000 L/h, onde no total se realizaram dezanove ensaios para cada contador.

Após a realização dos ensaios metrológicos a esta amostra de contadores, foi feita uma primeira análise comparativa entre o comportamento do erro dos contadores novos e reparados. Os resultados do estudo são apresentados na Figura 4.3. Cada curva é composta

por vários pontos, onde cada ponto resulta da média dos erros calculada através das quinze observações para o respetivo caudal

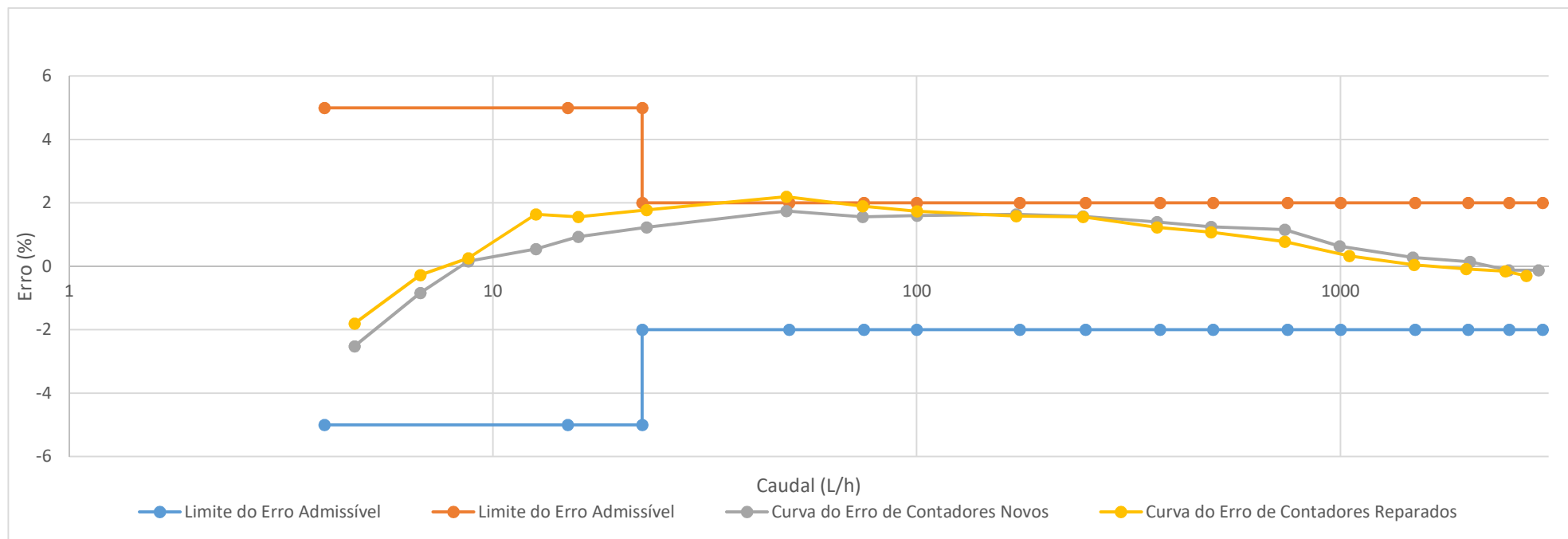


Figura 4.3 – Comparação do erro de medição entre contadores novos e reparados - Escala logarítmica (fonte: autor).

A Figura 4.3 representa o erro dos contadores novos e reparados em função do caudal expresso em (L/h). Esta permite uma análise visual comparativa entre as duas curvas, onde apenas se observa e compara a proximidade dos pontos. Em geral a curva do erro para contadores reparados é bastante semelhante à curva do erro de contadores novos.

Por forma a obter uma confirmação estatística de que não existem (ou existem) diferenças entre contadores novos e reparados, analisou-se a diferença das curvas com base em indicadores mensuráveis. Para isso recorreu-se ao *software* de cálculo numérico, Matlab®, onde se aplicou o teste estatístico de igualdade de distribuições, mais concretamente o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas distribuições. No presente estudo, utilizou-se o teste de K-S para avaliar as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os contadores são iguais} \\ H_1: \text{Os contadores não são iguais} \end{cases}$$

A hipótese H_0 é equivalente a testar a igualdade das distribuições de erro obtidas após ordenação, ou seja, a igualdade dos processos geradores de dados que lhe deram origem. Através desta ferramenta, obteve-se a representação gráfica das curvas cumulativas ordenadas de contadores novos e reparados (ver Figura 4.4), onde se desprezam valores do erro acima de 5 % e abaixo de -5 %.

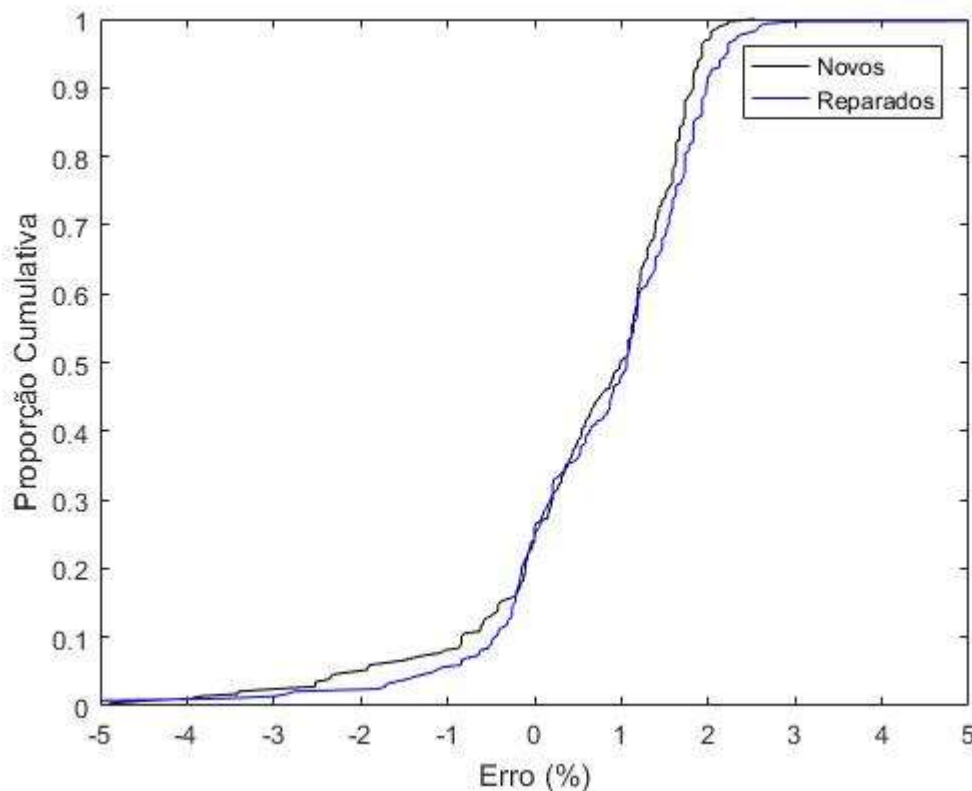


Figura 4.4 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores novos e reparados (fonte: autor).

A Figura 4.4 representa a ilustração da estatística de Kolmogorov-Smirnov, onde a linha preta é a função de distribuição dos contadores novos, a linha azul é a função de distribuição dos

contadores reparados. Pela sua análise é possível visualizar a proximidade dos dados das funções de distribuição, o que permite concluir que os contadores têm comportamento do erro similar.

Considerando 1 % como grau de significância do teste, e atendendo que o valor do teste de K-S obtido foi 0,2531, e como $0,2531 > 0,01$, conclui-se que H_0 é a hipótese aceite. Assim, no estudo comparativo do erro de contadores novos e reparados, pode-se concluir que a performance de ambos os tipos de contadores é igual.

Contudo, este indicador é muito vago porque no fundo compara distribuições de erro sem olhar a caudais. Assim, para além de realizar o teste de K-S para todos os caudais globalmente, realizaram-se testes comparando apenas caudal a caudal (ver Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Teste de K-S para contadores novos vs. reparados, caudal a caudal.

| Caudal (L/h) | Teste de Hipóteses | <i>p-value</i> |
|--------------|--------------------|----------------|
| 4 | 0 | 0,0168 |
| 6 | 0 | 0,0515 |
| 8 | 0 | 0,1359 |
| 12 | 0 | 0,0515 |
| 15 | 0 | 0,0515 |
| 22,5 | 0 | 0,0515 |
| 50 | 1 | 0,0047 |
| 75 | 0 | 0,0168 |
| 100 | 0 | 0,8899 |
| 175 | 0 | 0,1359 |
| 250 | 0 | 0,0515 |
| 375 | 0 | 0,0168 |
| 500 | 1 | 0,0047 |
| 750 | 1 | 0,0000 |
| 1000 | 0 | 0,0515 |
| 1500 | 1 | 0,0047 |
| 2000 | 0 | 0,0168 |
| 2500 | 0 | 0,3079 |
| 3000 | 0 | 0,0168 |
| K-S Total | 0 | 0,2531 |

Importa salientar que o teste de hipóteses pode devolver dois valores, zero (0) ou um (1). Quando o valor do teste de hipóteses dá zero (0) significa que H_1 é rejeitado, e se pode afirmar que os contadores são iguais. Quando o valor do teste de hipóteses dá um (1) significa que os contadores não são iguais. Veja-se que para o caudal de 4 L/h, o valor de K-S é 0,0168, como $0,0168 > 0,01$, verifica-se que a H_0 é aceite, logo o valor devolvido para o teste de hipóteses é zero (0), concluindo-se que para o caudal de 4 L/h, os contadores novos e reparados têm comportamentos equivalentes.

Em suma, pela análise global verificou-se que para quinze dos caudais, H_0 foi a hipótese aceite, e apenas para quatro caudais (50 L/h, 500 L/h, 750 L/h e 1500 L/h) H_0 foi a hipótese

rejeitada. Neste caso, os contadores não apresentam comportamento igual. Conclui-se que para a maioria dos caudais estudados os contadores apresentam comportamento do erro igual, o que significa que os contadores reparados podem aceitavelmente ser usados como novos.

4.3 Análise comparativa do erro de medição por marca de contador

No âmbito do presente estágio surgiu também a necessidade de avaliar o comportamento do erro de contadores de marcas diferentes. A Águas de Coimbra, E.M., opera essencialmente com três marcas de contadores, não detalhando o nome das marcas, estas identificam-se como A, B e C. O objetivo é analisar e comparar o comportamento do erro de contadores novos das três marcas mencionadas. Para isso realizou-se um estudo no laboratório da Águas de Coimbra, E.M. O estudo em causa consistiu no ensaio laboratorial de uma amostra de trinta contadores novos de calibre 15 mm, sendo dez da marca A, dez da marca B e dez da marca C. O ensaio foi realizado aos caudais de 4 L/h, 8 L/h, 12 L/h, 15 L/h, 22,5 L/h, 50 L/h, 100 L/h, 250 L/h, 375 L/h, 500 L/h, 750 L/h, 1000 L/h, 1500 L/h, 2000 L/h, 2500 L/h e 3000 L/h. No total foram efetuados dezasseis ensaios por contador. Os resultados relativos às curvas de erro são mostrados na Figura 4.5.

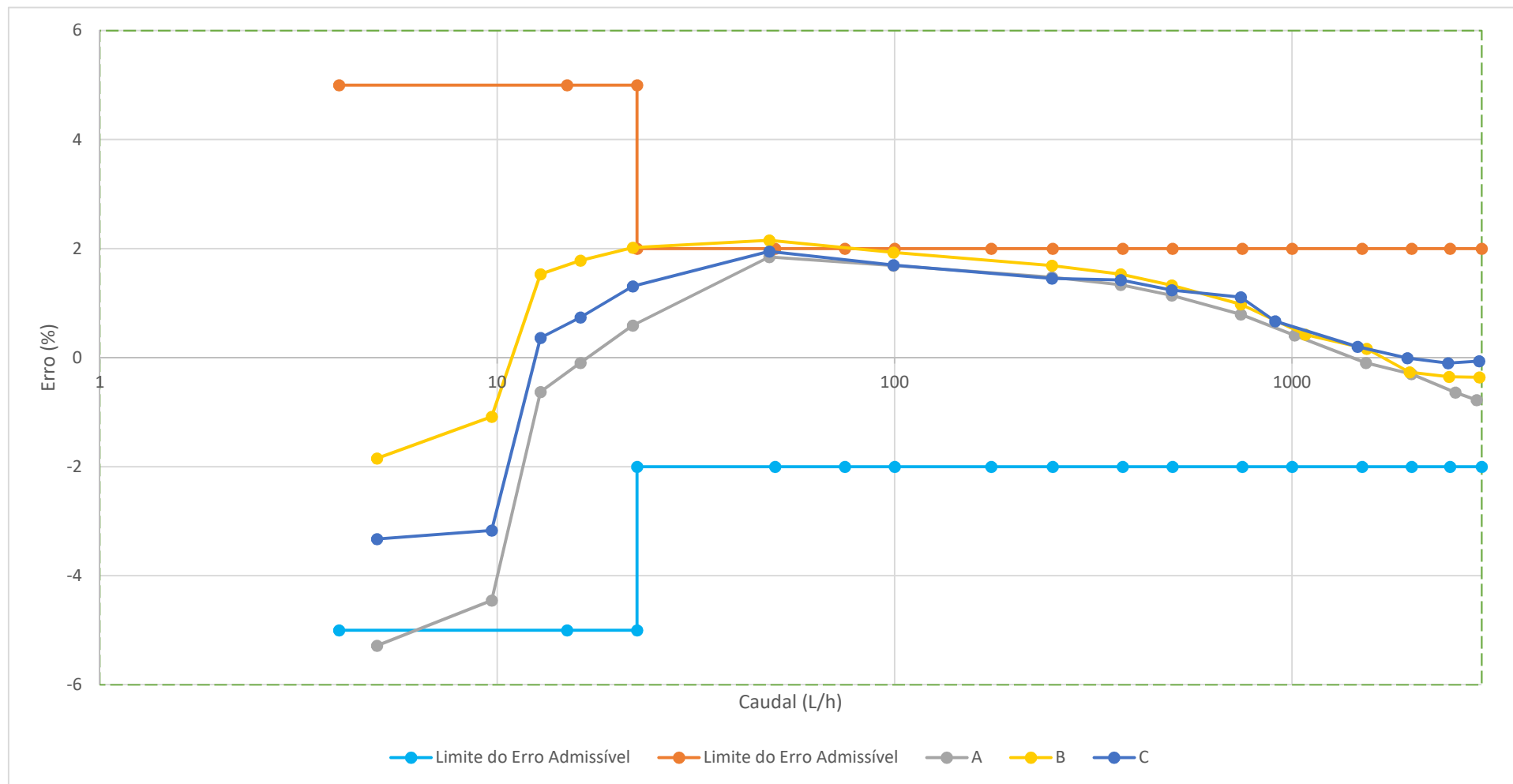


Figura 4.5 - Comparação do erro de medição entre marcas, A, B e C - Escala logarítmica (fonte: autor).

A Figura 4.5 representa a curva do erro para contadores de três marcas diferentes em função do caudal expresso em (L/h). Esta permite uma análise visual comparativa entre as três curvas, onde apenas se observa e compara a proximidade dos pontos. Em geral, a observação das curvas A, B e C não é suficiente para concluir a semelhança (ou não) das performances das respetivas marcas.

A análise descrita acima é apenas comparativa em termos visuais, pois apenas se observa e compara a proximidade dos pontos. À semelhança do estudo descrito em 4.2 foi necessária comprovação estatística de se há (ou não) diferenças entre contadores das três marcas. Deste modo, no presente estudo, utilizou-se igualmente o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas distribuições, onde se compararam as marcas duas a duas. As hipóteses testadas foram:

1. $\begin{cases} H_0: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca A e B são iguais} \\ H_1: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca A e B não são iguais} \end{cases}$
2. $\begin{cases} H_0: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca A e C são iguais} \\ H_1: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca A e C não são iguais} \end{cases}$
3. $\begin{cases} H_0: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca B e C são iguais} \\ H_1: \text{O comportamento do erro dos contadores da marca B e C não são iguais} \end{cases}$

Neste estudo, para realizar o teste da igualdade de distribuições, desprezaram-se valores do erro acima de 5 % e abaixo de -5 % e considera-se 1 % como grau de significância do teste.

Perante as considerações tidas em conta anteriormente, e perante o ponto 1, onde se comparam as marcas A e B (ver Figura 4.6, representando as cumulativas ordenadas), obteve-se um valor do teste de K-S de $8,5210 \times 10^{-04}$, e como $8,5210 \times 10^{-04} < 0,01$, conclui-se que H_0 é rejeitada. Assim, desta análise comparativa pode-se concluir que o comportamento do erro dos contadores da marca A é diferente do comportamento do erro para a marca B.

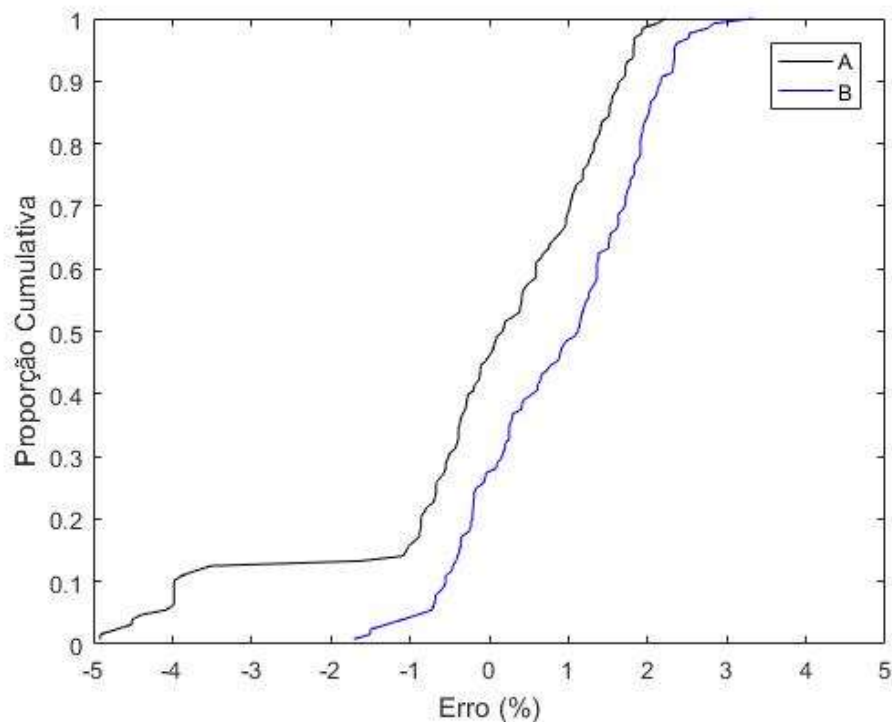


Figura 4.6 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca A e da marca B (fonte: autor).

Ainda que apenas visualmente, pela análise da Figura 4.6, também é possível constatar que não existe proximidade entre as duas funções de distribuição, o que permite concluir que o comportamento do erro para contadores da marca A e B não é igual.

É agora então, altura de fazer a análise comparativa entre a marca A e C, usando o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas distribuições (ver Figura D.1 do Anexo D ilustrando as cumulativas ordenadas). Por forma a tirar conclusões, aplicou-se o teste de K-S e obteve-se o seu valor, 0,0191, como $0,0191 > 0,01$, conclui-se que H_0 é aceite. Assim, nesta análise verifica-se que o comportamento do erro dos contadores da marca A é igual ao comportamento do erro para a marca C.

Por fim, para o ponto 3, o valor do teste K-S para comparação da marca B vs. C (Figura D.2 do Anexo D ilustrando as cumulativas ordenadas) é de 0,0036, pelo que $0,0036 < 0,01$, assim H_0 é rejeitado. Esta análise comparativa permite concluir que o comportamento do erro para contadores da marca B e C não é igual. Para uma análise mais aprofundada, recorreu-se a uma análise comparativa caudal a caudal sendo os resultados apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Teste de K-S por marca de contador, caudal a caudal.

| Caudal (L/h) | A vs. B | | A vs. C | | B vs. C | |
|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Teste de Hipóteses | <i>p-value</i> | Teste de Hipóteses | <i>p-value</i> | Teste de Hipóteses | <i>p-value</i> |
| 4 | 1 | 0,0002 | 0 | 0,0497 | 1 | 0,0014 |
| 8 | 1 | 0,0002 | 0 | 0,0497 | 1 | 0,0014 |
| 12 | 1 | 0,0014 | 1 | 0,0098 | 1 | 0,0098 |
| 15 | 1 | 0,0002 | 0 | 0,0497 | 1 | 0,0098 |
| 22,5 | 1 | 0,0002 | 1 | 0,0098 | 1 | 0,0098 |
| 50 | 1 | 0,0098 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,0497 |
| 100 | 0 | 0,1877 | 0 | 0,929 | 0 | 0,1877 |
| 250 | 0 | 0,0497 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,0497 |
| 375 | 0 | 0,0497 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,0497 |
| 500 | 0 | 0,1877 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,1877 |
| 750 | 0 | 0,5189 | 1 | 0,0098 | 0 | 0,0497 |
| 1000 | 0 | 0,9290 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,1877 |
| 1500 | 0 | 0,1877 | 0 | 0,9290 | 0 | 0,0497 |
| 2000 | 0 | 0,929 | 0 | 0,5189 | 0 | 0,9290 |
| 2500 | 0 | 0,1877 | 1 | 0,0098 | 0 | 0,5189 |
| 3000 | 0 | 0,0497 | 1 | 0,0002 | 1 | 0,0014 |
| K-S Total | 1 | 8,5210×10 ⁻⁰⁴ | 0 | 0,0191 | 1 | 0,0036 |

Em termos conclusivos verifica-se que os contadores da marca B têm performances diferentes das outras duas marcas, enquanto as marcas C e A são equiparadas entre si. Verifica-se que há caudais onde há diferenças substanciais, mesmo quando as distribuições são iguais. Isso é devido ao facto do teste K-S quando aplicado ao conjunto de dados não ter em conta o caudal. À semelhança do já notado nos testes dos ensaios anteriores, as diferenças são mais notórias para caudais baixos.

4.4 Análise comparativa do erro de medição por calibre do contador

Foi também avaliado o comportamento do erro de contadores face ao seu calibre. A Águas de Coimbra, E.M., opera maioritariamente com contadores de calibre 15 mm e 20 mm. O objetivo nesta secção é analisar e comparar o comportamento do erro de medição de contadores reparados para ambos os calibres.

Aqui o estudo consistiu no ensaio laboratorial de uma amostra de vinte e oito contadores reparados, sendo quinze de calibre 15 mm e treze de calibre 20 mm. O procedimento envolveu a escolha aleatória dos vinte e oito contadores e o seu teste aos caudais de 4 L/h, 8 L/h, 15 L/h, 25 L/h, 50 L/h, 100 L/h, 250 L/h, 375 L/h, 500 L/h, 750 L/h, 1000 L/h, 1500 L/h, 2000 L/h, 2500 L/h e 3000 L/h. Os ensaios foram levados a cabo segundo o procedimento descrito no início do capítulo 4. No total realizam-se quinze ensaios por contador, sendo os resultados mostrados na Figura 4.7.

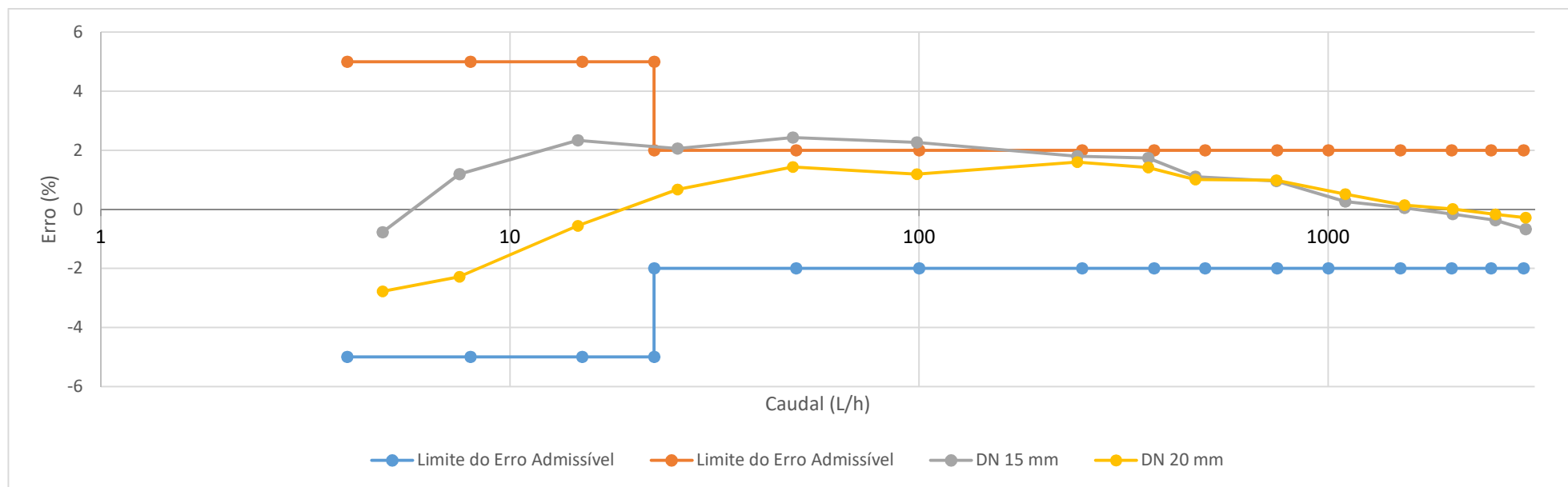


Figura 4.7 - Comparação do erro de medição entre contadores de calibre 15 mm e calibre 20 mm – Escala logarítmica (fonte: autor).

Pela análise da Figura 4.7, constata-se que as curvas do erro para calibres de 15 mm e 20 mm apresentam uma disparidade considerável entre os seus pontos, assim através de uma análise simplificada é possível conjecturar que o comportamento do erro são distintos entre estes calibres.

Também para este estudo, se recorreu a indicadores mensuráveis, utilizando-se o teste de K-S para avaliar as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os contadores apresentam o mesmo comportamento de erro} \\ H_1: \text{Os contadores não apresentam o mesmo comportamento de erro} \end{cases}$$

Após o teste de K-S, é possível analisar o *output* gerado da cumulativa ordenada sobre a forma de representação gráfica. Assim na Figura 4.8 apresentam-se as funções de distribuição cumulativas para os contadores com calibre de 15 mm e 20 mm, onde se desprezam valores do erro acima de 5 % e abaixo de -5 %.

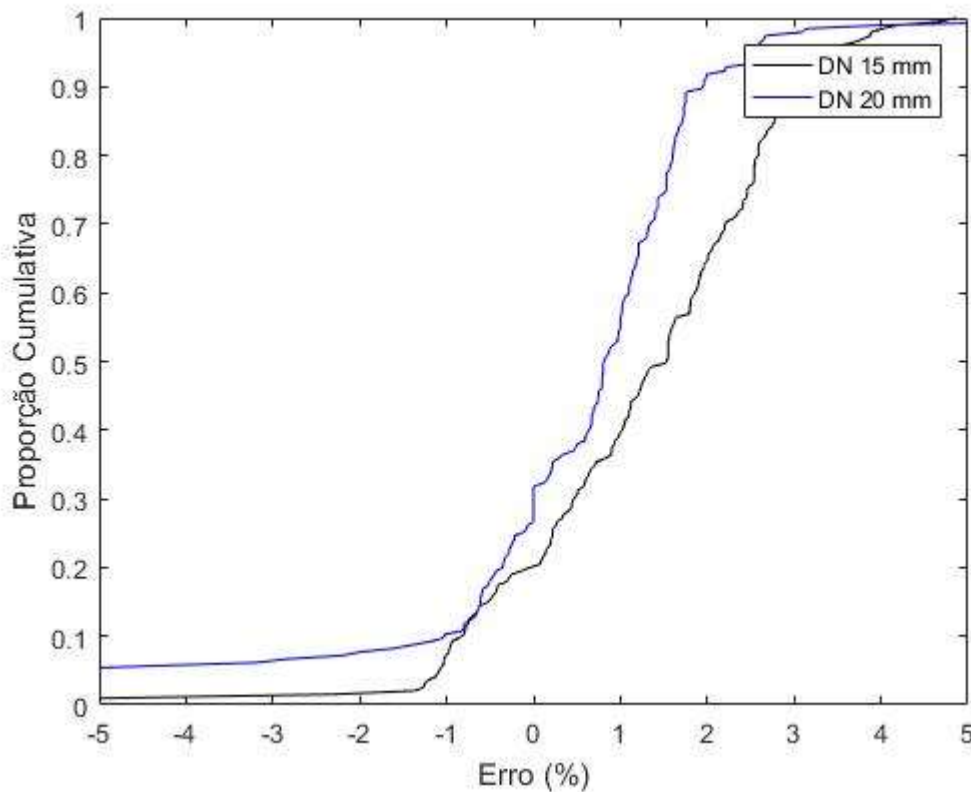


Figura 4.8 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores com calibres de 15 mm e 20 mm (fonte: autor).

A Figura 4.8 mostra que as duas funções de distribuição se encontram consideravelmente afastadas o que permite concluir que os contadores não têm comportamento do erro similar.

Considerando 1 % como grau de significância do teste, e atendendo que o valor do teste de K-S obtido foi $8,6040 \times 10^{-10}$, e como $8,6040 \times 10^{-10} < 0,01$, conclui-se que H_0 é rejeitada. Assim, no estudo comparativo de contadores de calibres de 15 mm e 20 mm, pode-se concluir que os contadores não apresentam comportamento de erro igual.

De seguida, realizou-se outro teste comparando a diferença caudal a caudal (ver Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Teste de K-S para contadores de calibre de 15 mm vs. 20 mm, caudal a caudal.

| Caudal (L/h) | Teste de Hipóteses | p-value |
|------------------|--------------------|--------------------------------|
| 4 | 0 | 0,0280 |
| 8 | 1 | 0,0003 |
| 15 | 1 | 0,0000 |
| 25 | 1 | 0,0001 |
| 50 | 1 | 0,0000 |
| 100 | 1 | 0,0000 |
| 250 | 0 | 0,0280 |
| 375 | 0 | 0,0870 |
| 500 | 0 | 0,0870 |
| 750 | 1 | 0,0017 |
| 1000 | 0 | 0,2264 |
| 1500 | 0 | 0,2264 |
| 2000 | 0 | 0,4889 |
| 2500 | 0 | 0,2264 |
| 3000 | 0 | 0,4889 |
| K-S Total | 1 | 8,6040×10⁻¹⁰ |

Pela sua análise verificou-se que para seis dos caudais ensaiados, H_0 foi a hipótese rejeitada, e para nove (4 L/h, 250 L/h, 375 L/h, 500 L/h, 1000 L/h, 1500 L/h, 2000 L/h, 2500 L/h e 3000 L/h) H_0 foi a hipótese rejeitada, pelo que os contadores não apresentam comportamento similar. Conclui-se assim, que o comportamento de erro em contadores com calibre de 15 mm e 20 mm é estatisticamente diferente.

4.5 Estudo da degradação do erro de medição com o tempo

Com o objetivo de desenvolver ações no sentido de reduzir as perdas e fugas dos sistemas de produção, transporte e distribuição na rede, surge a necessidade de conduzir estudo para caracterizar a evolução do erro dos contadores ao longo do tempo. Esta dinâmica pode estar associada a situações de sub-faturação ou sobrefaturação que se agrava à medida que a idade do contador aumenta. Esta análise poderá igualmente ser usada para estabelecer a periodicidade da substituição dos contadores instalados nos consumidores.

Neste estudo foi recolhida da rede de distribuição uma amostra de contadores, organizada por modelos e por idades, destinada à determinação dos seus erros de medição. O principal objetivo do estudo passa por relacionar a influência da idade na exatidão do sistema de medição e verificação. Para servir de base ao estudado foram ensaiados vinte e sete contadores de várias idades.

Neste processo, os contadores foram colocados na bancada de ensaio do laboratório da Águas de Coimbra, E.M. e submetidos a ensaios aos caudais de 4 L/h, 8 L/h, 15 L/h, 25 L/h, 50 L/h, 100 L/h, 250 L/h, 375 L/h, 500 L/h, 750 L/h, 1000 L/h, 1500 L/h, 2000 L/h, 2500 L/h e 3000 L/h. Os ensaios realizados usam o mesmo procedimento descrito anteriormente. Após os ensaios foram calculados os erros para cada um deles, a cada caudal, os quais são graficamente representados na Figura 4.9. Esta representação mostra comportamentos similares para todos os medidores ensaiados independentemente da idade. Note-se que os valores constantes na legenda se referem à idade dos contadores e não se identifica uma tendência.

Com o intuito de levar a cabo uma análise mais efetiva, na Figura 4.10 é representado o erro em função da idade do contador após instalação.

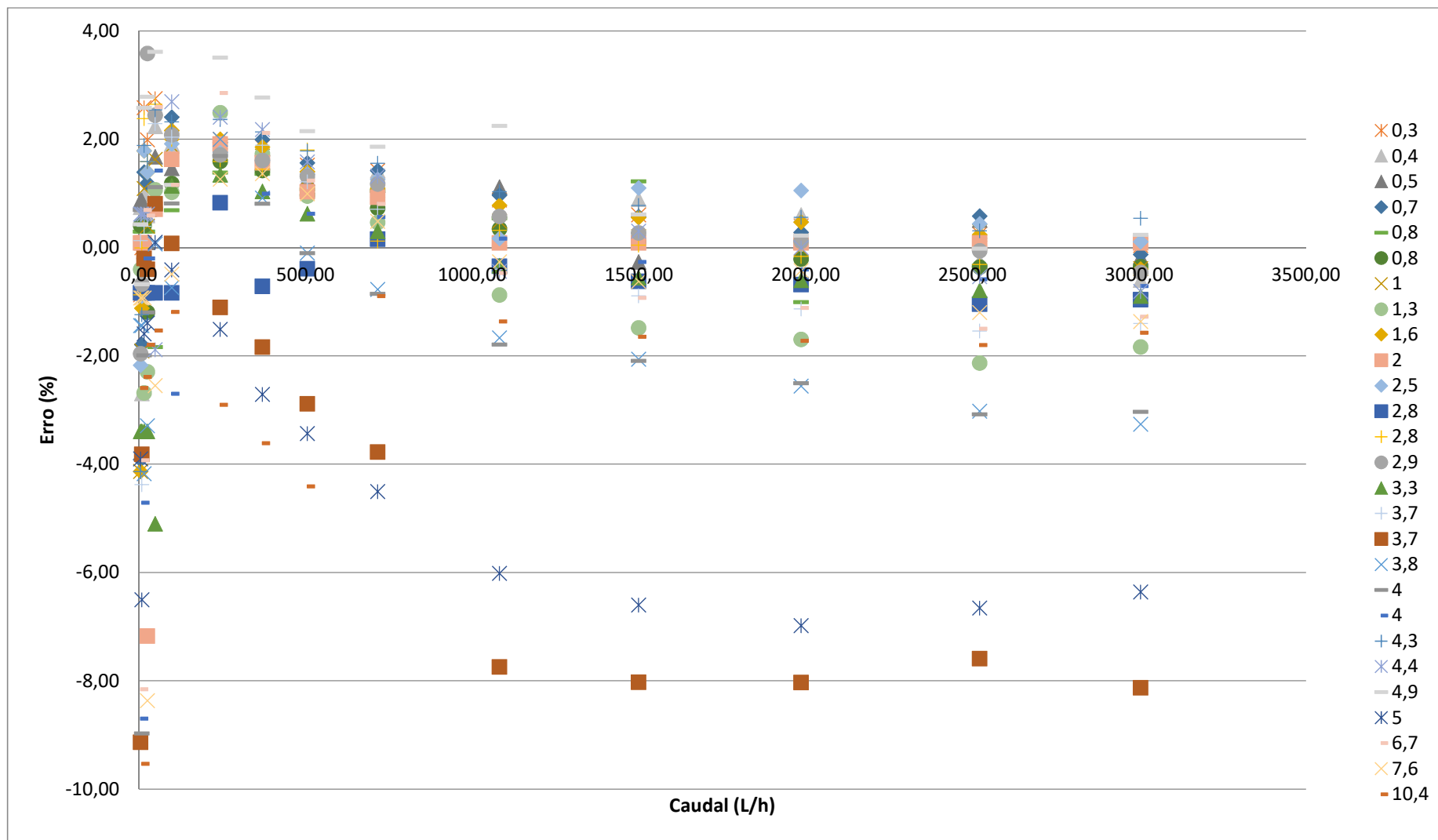


Figura 4.9 – Erro de medição de contadores de água em função do caudal e da idade após instalação (fonte: autor).

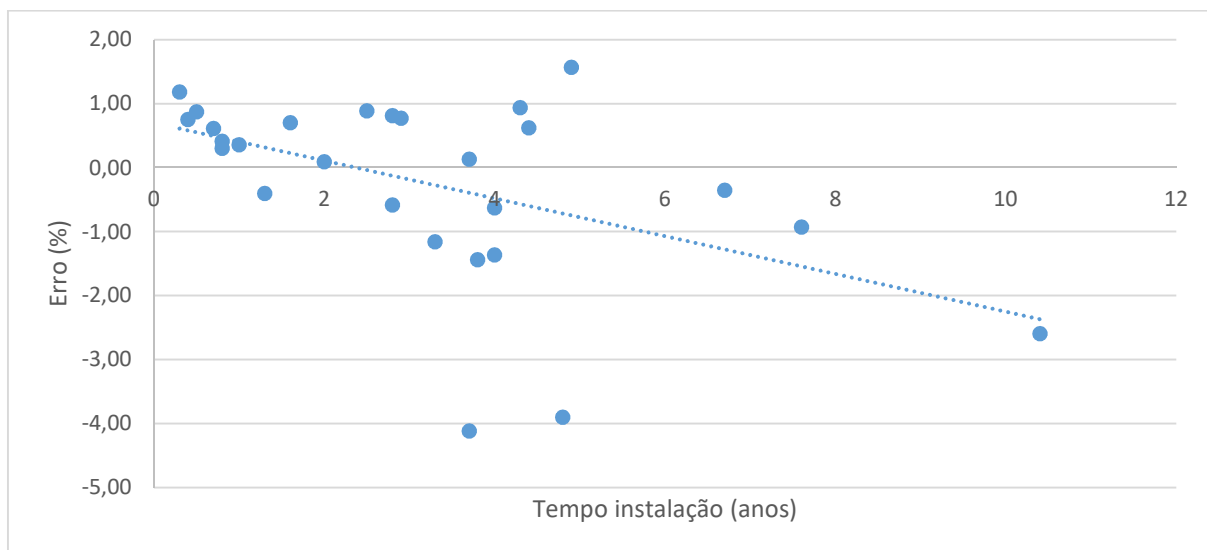


Figura 4.10 – Erro de medição de contadores em função da idade após instalação (fonte: autor).

Recorde-se que o estudo envolveu vinte e sete contadores, onde foram ensaiados vinte e quatro com idade inferior a 5 anos e três contadores com idade entre 5 e 10 anos. Da Figura 4.10 pode observar-se que não existe uma relação clara entre a evolução dos erros e a idade. Ainda assim, pela linha de tendência traçada é visível a tendência do erro para valores negativos (sub-medição) com o aumento da idade. No entanto, para os dados obtidos, era objetivo obter um valor para a taxa média de degradação anual, e uma expressão de onde fosse possível determinar o ano ideal de substituição do contador face ao seu erro. Para isso era necessário ajustar o modelo linear proposto na secção 3.4. Ambos os modelos apresentados podem ser ajustáveis ao problema em causa. Contudo, tendo em conta que os erros obtidos neste estudo variam entre valores negativos e positivos, o ajuste do modelo de descrito pela lei de potência é mais complexo.

Com base nos dados da Figura 4.10 e recorrendo a ferramentas computacionais, a estratégia de ajuste envolveu a resolução do problema de otimização. Assim, a equação do erro em função da idade é representada por: $e(t) = -0,29503t + 0,70096$, onde $-0,29503$ é o valor da taxa média de degradação anual e $0,70096$ é o valor do erro no ano zero. Conhecendo o valor dos parâmetros, tendo em conta que o valor de desvio padrão do erro de $1,44421$ e considerando um nível de confiança de $\pm 95\%$, obteve-se como intervalo de confiança para os parâmetros (ver Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Intervalo de confiança dos parâmetros.

| Parâmetros | Valor | Intervalo de Confiança a $\pm 95\%$ |
|------------|----------|-------------------------------------|
| m | -0,29503 | [-0,86634;0,27628] |
| b | 0,70096 | [0,12965;1,27227] |
| R^2 | 0,23813 | |
| σ_e | 1,44421 | |

Nesta amostra, o valor do coeficiente de determinação, R^2 em percentagem é 23,813 % e indica em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. O que significa que apenas 23,813 % da informação contida na variável dependente consegue ser explicada pela regressão. Uma vez que o valor de R^2 é muito baixo, conclui-se que o modelo de regressão linear representado é débil e o seu uso para previsão deve ser cuidadoso.

Para os valores do intervalo de confiança dos parâmetros, o limite inferior para a taxa de degradação média anual é de -0,86634 e para a constante do erro no ano zero é de 0,12965. Reescrevendo a equação do erro tendo em conta os valores mínimos do intervalo de confiança, obtém-se $e(t) = -0,86634t + 0,12965$.

Em termos conclusivos, com os resultados obtidos é possível caracterizar o modelo de previsão, ainda que o intervalo de confiança dos parâmetros seja bastante largo, o que tira capacidade ao modelo como efetiva a ferramenta de previsão. Ainda assim, ele pode ser usado para estabelecer uma previsão para o intervalo de substituição dos medidores. Na prática, admitindo um limite inferior de 5 % para o erro, o tempo de substituição mínimo é de $5,92 \cong 6$ anos.

5 Conclusões e trabalho futuro

O controlo das perdas de água é fundamental para a sustentabilidade dos recursos hídricos e das entidades gestoras de sistema de abastecimento de água. A redução das perdas reais traduz-se em aumentos de eficiência na utilização de recursos hídricos e a redução das perdas aparentes tem o maior reflexo a nível económico. As perdas aparentes abrangem os erros de medição, nomeadamente os erros nos contadores. O problema dos erros de medição em contadores de água domésticos não pode ser negligenciado uma vez que tem consequências na fatura da água consumida e tanto pode prejudicar o consumidor como a entidade gestora, dependendo de, se o erro é positivo (sobre-contagem), ou negativo (sub-contagem), respetivamente.

A melhoria da performance dos sistemas de medida é crucial e vem na continuidade de ações promovidas pela Águas de Coimbra, E.M. No quadro da melhoria da monitorização de perdas por sub-medição, os aspetos que têm vindo a ser melhorados prendem-se com a verificação e regular substituição dos contadores. Desde modo, a verificação de equipamentos faz parte do mecanismo de garantia da qualidade da medição, estando enquadrado no SGQ da Águas de Coimbra, E.M., mais especificamente no Processo de Melhoria, o qual por sua vez engloba a Análise do Sistema de Medida.

No entanto, outros aspetos têm vindo a assumir relevância na melhoria contínua, como sejam, por exemplo, a relação entre o erro de verificação (e medição) e o caudal, ou a relação entre erro de medição e a marca do contador. Outro aspeto crucial para analisar e melhorar com base no conhecimento decorre do facto de, inegavelmente, existir degradação ao longo do tempo da exatidão dos contadores. Isto é, apesar da verificação inicial, o tempo e o volume de água que neles passou causam a potencial degradação da medida. Ora, um tal comportamento pode ter custos para o fornecedor.

Deste modo, no âmbito do estágio trabalhou-se detalhadamente sobre as atividades da ASM enquadradas no SGQ. Particularmente, estudou-se a verificação do equipamento de medida, nomeadamente a análise e caracterização dos erros, com foco nos que estão associados à verificação, onde se efetuou:

- o cálculo da repetibilidade da operação de verificação no laboratório da Águas de Coimbra, E.M.;
- o estudo do erro de contadores reparados vs. contadores novos;
- o estudo do erro de contadores de água de três marcas diferentes;
- o estudo de comparação do erro em contadores de calibre 15 mm vs. 20 mm;
- o estudo de degradação de contadores com o tempo.

No cálculo da repetibilidade da operação de verificação no laboratório da Águas de Coimbra, E.M., utilizou-se uma amostra de trinta contadores e realizaram-se três ensaios a três caudais diferentes. Para o caudal de 15 L/h e 22,5 L/h, o rácio (TV/R&R) é de 13,84 % e 27,86 % respectivamente, pelo que se encontram no patamar entre os 10 % e 30 % o que significa que

o sistema de medição pode ser considerado aceitável com base na aplicação. Para o caudal de 3000 L/h, a percentagem do rácio é de 31,09 %, sendo superior ao patamar dos 30 %, o que significa que o sistema de medição necessita de melhorias.

Para o estudo conduzido para avaliar o comportamento do erro para contadores de água novos e reparados, verifica-se que a curva do erro para contadores usados é bastante semelhante à curva do erro de contadores novos. Comparando-as com a curva de erros típica (teórica) para um contador volumétrico, verifica-se que ambas se assemelham a ela. Deste modo, para comprovar estatisticamente que o seu comportamento é (ou não) igual, testou-se a igualdade de distribuições. Para tal usou-se o teste de K-S, tendo-se concluído que os contadores reparados na Águas de Coimbra, E.M têm performances similares aos contadores novos.

Para o estudo comparativo do erro associado a contadores de água de três marcas diferentes, concluiu-se que os contadores da marca B são diferentes das restantes marcas estudadas, enquanto as marcas C e A têm performances equivalentes.

Para a análise comparativa dos erros de contadores de calibre 15 mm vs. 20 mm, verifica-se que a curva de erros para contadores de calibre 15 mm e a curva de erros para contadores de calibre 20 mm são visivelmente diferentes. Aplicando o teste de K-S para duas distribuições obtém-se a confirmação que estes dois tipos de contadores têm performance estatisticamente diferentes.

Os contadores de água domésticos tendem a perder precisão à medida que vão envelhecendo. Teoricamente, quanto mais idade um certo contador tiver, menos preciso será, e, por outro lado, se o caudal que o atravessa for demasiado baixo ou demasiado elevado, maior erro ele apresentará. Com o estudo do erro para contadores de diferentes idades pôde observar-se que não existe uma relação óbvia entre a evolução do erro e a idade, e existem contadores onde o erro diminui à medida que o caudal aumenta e outros onde tal não se verifica. O estudo incidiu sobre vinte e quatro contadores com idades inferiores a 5 anos e apenas três contadores com idades entre 5 e 10 anos. Ajustando um modelo de regressão linear, a regressão obtida foi $e(t) = -0,29503t + 0,70096$, onde -0,29503 é o valor da taxa média de degradação anual. Com os resultados obtidos é possível caracterizar o modelo de previsão ainda que o intervalo de confiança dos parâmetros seja bastante largo, o que tira capacidade ao modelo como efetiva a ferramenta de previsão. Verifica-se que para ajustar este modelo a amostra de contadores devia ser maior e mais diversificada na categoria de idades.

Numa fase final, e considerando o trabalho futuro a desenvolver de modo a aprofundar o estudo dos ensaios realizados, é crucial realizar ensaios de uma amostra de dados maiores. Deste modo, o resultado seria potencialmente mais claro. O cálculo da repetibilidade devia ser novamente estudado e amplificado a mais dados de análise. Caso os resultados se mantenham, devem ser implementadas medidas de melhoria no processo de verificação dos contadores, de modo a aumentar a precisão. Por fim, é de relevância que o modelo de degradação deva igualmente ter como variável explicativa o volume total de água que passa no medidor.

Referências

- AIAG. (2010). *Measurement Systems Analysis*. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- Albardeiro, C., Gama, F., & Chicharro, M. (2014). Comunicações Geológicas. *Utilização do Teste Kolmogorov-Smirnov para estudos de proveniência sedimentar*. doi:0873948
- Alves, W. C., Peixoto, J. B., Sanchez, J. G., & Leite, S. R. (2004). *Micromedição. Documento Técnico de Apoio n.º D3*.
- American Water Works Association. (05 de Outubro de 2015). *Water*, S.A. 41. doi:18167950
- António, N. S., Teixeira, A., & Rosa, Á. (2016). *Gestão da Qualidade - De Deming ao modelo de excelência da EFQM*. Lisboa: Edições Silabo. doi:9789726188544
- APCER. (2010). *Guia interpretativo de NP EN ISO 9001:2008*. Leça da Palmeira: APCER.
- APCER. (2015). *Guia do Utilizador ISO 9001:2015*. Porto: APCER.
- APDA - Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas. (2014). *Perdas por sub-medição*. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas. Lisboa: APDA. Obtido de www.apda.pt
- Arregui, F. J., Gavara, J. F., Soriano, J., & Jabaloyes, L. P. (8 de Maio de 2018). Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. *Water*, 10(612), 18. doi:103390
- Arregui, F. J., Pardo, M. A., Soriano, J., & Parra, J. C. (2007). Quantification of meter errors of domestic users: a case study. *Water Loss 2007: Conference Proceeding*. Bucareste: Romanian water association. doi:9789737681263
- Brito, B. d. (2012). *A estrutura documental da Qualidade*. Faculdade de Economia, Faculdade de Economia. Coimbra: Faculdade de Economia.
- Carpinetti, L. C. (2016). *Gestão da Qualidade - Conceitos e Técnicas*. Atlas. doi:9788597003918
- Castillo, E. d. (2002). *Statistical Process Adjustment*. Wiley. doi:9780471435747
- Dodge, Y. (2008). *The Concise Encyclopedia of Statistics*. Suíça: Springer. doi:9780387328331
- Duarte, C., & Pereira, A. (2010). *Probabilidades e Estatística*. Setúbal: Departamento de Matemática da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal do Instituto Politécnico de Setúbal.
- Fernandes, J. (2014). *Redução de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água*. FEUP, Engenharia Civil. Porto: FEUP.
- Frangipani, M. (2007). *Macromedição*. Brasília: SNSA. doi:9788560133574
- Gomes, P. J. (2004). *A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação*. Cadernos BAD2.
- Graybill, F., Iyer, H., & Burdick, R. (1997). *Applied Statistics*. USA: Har/Dskt Edition. doi:9780136214670

- Helene, O. (2006). *Método dos Mínimos Quadrados* (1ª Edição ed.). Brasil: Livraria da Física Editora. doi:9788588325548
- Inova, E.M. (10 de Fevereiro de 2014). Telemetria - Inovação na leitura dos contadores. *Telemetria - Inovação na leitura dos contadores*.
- Instituto Português da Qualidade. (2016). *ISO 9001:2015 In Brief*. Inglaterra: ROUQ. doi:9781138025868
- IPQ. (2008). Norma Portuguesa 2468:2008. *Contadores de água limpa, para uso doméstico, comercial ou da indústria ligeira*. Caparica, Portugal: IPQ.
- IPQ. (2012). *Vocabulário Internacional de Metrologia*. Caparica, Portugal: IPQ.
- Lopes, A., & Capricho, L. (2007). *Manual de Gestão da Qualidade*. Lisboa: Edições Sílabo. doi:9789728871130
- Mendes, J. A. (2009). *História do Abastecimento de Água a Coimbra*. Coimbra: Museu da Água. doi:9789899649613
- Negas, E. (2019). *Estatística Descritiva*. Lisboa: Edições Sílabo. doi:9789895610198
- Oliveira, O. J. (2001). *Gestão da qualidade na indústria da construção civil*. Brasil: Pensamento & Realidade. doi:22374418
- Pinto, A. (2017). *ISO 9001:2015*. Lisboa: Lidel. doi:9789897522697
- Pinto, A., & Soares, I. (2011). *Sistema de Gestão da Qualidade - Guia para a sua implementação*. Lisboa: Sílabo.
- Pinto, A., & Soares, I. (2018). *Sistema de Gestão da Qualidade*. Lisboa: Edições Sílabo. doi:9789726188919
- Pires, A. R. (2007). *Qualidade, Sistemas de Gestão da Qualidade*. Edição Sílabo.
- Pires, A. R. (2012). *Sistemas de Gestão da Qualidade, Ambiente, Segurança, Responsabilidade Social, Indústria, Serviços, Administração Pública e Educação*. Lisboa: Sílabo.
- Portal Action. (15 de Julho de 2019). *Análise de Sistemas de medição - tendência e linearidade*. Lisboa.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. New York: Tata McGraw-Hill edition.
- Ramos, E., Araújo, A. d., & Silvia, A. d. (2012). *Controle Estatístico da Qualidade*. Bookman. doi:9788565837163
- Reis, E. (2008). *Estatística Descritiva*. Lisboa: Sílabo. doi:9789726184768
- Rizzo, A., Pearson, D., Stepheson, M., & Harper, N. (2004). *Apparent water loss control: a practical approach*. *Water 2, IWA publishing*.
- Sardinha, J., Serranito, F., Donnelly, A., Marmelo, V., Saraiva, P., Dias, N., Rocha, V. (2017). *Controlo Ativo de Perdas de Água*. EPAL Technical Editions. Lisboa: EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.

- Searle, S., & Gruber, M. (2006). *Linear Models*. Nova Iorque: Wiley.
- Sedgwick, P. (2014). Understanding confidence intervals. *The BMJ*, 349. doi:10.1136
- Silva, N., & Santos, V. C. (31 de Agosto de 2016). Manual Integrado. Coimbra, Coimbra, Portugal: Águas de Coimbra, E.M.
- Sousa, A. (2011). *Avaliação de Erros de Sub-Contagem em Contadores de Água Domésticos*. ISEC, Departamento Engenharia Civil. Coimbra: ISEC.
- Spector, B., & Beer, M. (1994). Beyond TQM programs. *Journal of Organizational Change Management*, 63-70.
- Taborda, C. (1999). *Melhorar a Qualidade da Medição*. Lisboa: EPAL, S.A.
- Tricker, R. (2016). *ISO 9001:2015 In Brief*. Inglaterra: ROUQ. doi:9781138025851
- Vieira, F. M. (01 de Janeiro de 2016). *A Nova ISO 9001:2015 - Preparar a Transição*. GIAGI - Consultores em Gestão Industrial. Aveiro: GIAGI.
- Werkema, M. C. (2006). *Avaliação de Sistemas de Medição. 1ª. Ed. Belo* (Vol. 5). Brasil: Werkema Editora.
- White, A. (1998). *Melhoria Contínua da Qualidade*. Record.

Anexos

Anexo A

PROPOSTA DE ESTÁGIO

Tema: Gestão e melhoria contínua do Sistema de Gestão da Qualidade da empresa municipal Águas de Coimbra

Aluno: Carina Raquel Ferrão Bogalho

Organização de hospedagem: Águas de Coimbra

Orientadores: Belmiro Duarte (ISEC), Nuno Silva (Águas de Coimbra)

Duração: 9 meses (1.Out.2018 a 30.Jun.2019)

Resumo

As empresas dedicadas à gestão de água, quer ao nível do fornecimento e gestão da infraestrutura de abastecimento, quer ao nível do tratamento e drenagem, têm, hoje, implementados Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) alinhados com a norma NP:ISO 9001:2015. A Águas de Coimbra, a empresa municipal que gere o abastecimento e drenagem de água ao nível do concelho de Coimbra enquadra-se neste grupo, tendo nos últimos anos obtido reconhecimento do cumprimento da sua missão com elevado padrão de exigência. Sendo o SGQ uma estrutura que necessariamente tem de ser gerida e melhorada, até para cumprimento do definido na norma, a Águas de Coimbra pretende a integração de um estagiário focado na melhoria contínua do SGQ e na sua respectiva gestão e planeamento. Neste quadro, no estágio em causa prevê-se o apoio à gestão documental dos procedimentos e dos registos, sua eventual melhoria, para além de contributos para actividades de planeamento e auditoria interna. Está ainda previsto o contributo efectivo do estagiário no âmbito do procedimento de controlo do processo, particularmente ao nível da verificação regular do equipamento por via de ensaios internos, o que pode vir a requerer análise de incerteza de medidas.

Palavras-chave: Gestão da qualidade; Manual da qualidade; Melhoria contínua; Controlo do processo; Calibração do equipamento; Análise de incerteza.

Descrição das tarefas

| Nº tarefa | Tarefa | Descrição |
|-----------|--|--|
| 1 | Integração na equipa | Percepção do SGQ, integração na equipa de trabalho e familiarização com a estrutura empresarial, estrutura do Manual da Qualidade e principais procedimentos |
| 2 | Apoio à equipa de gestão do SGQ | Análise da melhoria de procedimentos. Tratamento e documentação de dados. Preparação de relatórios de informação. |
| 3 | Apoio às actividades de controlo do processo | Análise e regular implementação de calibração de equipamentos. Análise de métricas de performance do SGQ. |
| 4 | Elaboração de estudos de R&R | Determinação das fontes de incerteza que contribuem para a medida de algumas variáveis |
| 5 | Escrita do relatório | Escrita e apresentação do relatório de estágio |

Cronograma

| Nº tarefa | Out.18 | Nov.18 | Dez.18 | Jan.19 | Fev.19 | Mar.19 | Abr.19 | Mai.19 | Jun.19 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |

Anexo B

Tabela B.1 - Valores da distribuição da gama das médias. (retirado de AIAG, (2010)).

| # Graus de liberdade | Tamanho da amostra | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 1.414 | 1.912 | 2.239 | 2.481 | 2.673 | 2.830 | 2.963 | 3.078 | 3.179 | 3.269 | 3.350 | 3.424 | 3.491 | 3.553 |
| 2 | 1.279 | 1.805 | 2.151 | 2.405 | 2.604 | 2.768 | 2.906 | 3.025 | 3.129 | 3.221 | 3.305 | 3.380 | 3.449 | 3.513 |
| 3 | 1.231 | 1.769 | 2.120 | 2.379 | 2.581 | 2.747 | 2.886 | 3.006 | 3.112 | 3.205 | 3.289 | 3.366 | 3.435 | 3.499 |
| 4 | 1.206 | 1.750 | 2.105 | 2.366 | 2.570 | 2.736 | 2.877 | 2.997 | 3.103 | 3.197 | 3.282 | 3.358 | 3.428 | 3.492 |
| 5 | 1.191 | 1.739 | 2.096 | 2.358 | 2.563 | 2.730 | 2.871 | 2.992 | 3.098 | 3.192 | 3.277 | 3.354 | 3.424 | 3.488 |
| 6 | 1.181 | 1.731 | 2.090 | 2.353 | 2.558 | 2.726 | 2.867 | 2.988 | 3.095 | 3.189 | 3.274 | 3.351 | 3.421 | 3.486 |
| 7 | 1.173 | 1.726 | 2.085 | 2.349 | 2.555 | 2.723 | 2.864 | 2.986 | 3.092 | 3.187 | 3.272 | 3.349 | 3.419 | 3.484 |
| 8 | 1.168 | 1.721 | 2.082 | 2.346 | 2.552 | 2.720 | 2.862 | 2.984 | 3.090 | 3.185 | 3.270 | 3.347 | 3.417 | 3.482 |
| 9 | 1.164 | 1.718 | 2.080 | 2.344 | 2.550 | 2.719 | 2.860 | 2.982 | 3.089 | 3.184 | 3.269 | 3.346 | 3.416 | 3.481 |
| 10 | 1.160 | 1.716 | 2.077 | 2.342 | 2.549 | 2.717 | 2.859 | 2.981 | 3.088 | 3.183 | 3.268 | 3.345 | 3.415 | 3.480 |
| 11 | 1.157 | 1.714 | 2.076 | 2.340 | 2.547 | 2.716 | 2.858 | 2.980 | 3.087 | 3.182 | 3.267 | 3.344 | 3.415 | 3.479 |
| 12 | 1.155 | 1.712 | 2.074 | 2.3439 | 2.546 | 2.715 | 2.857 | 2.979 | 3.086 | 3.181 | 3.266 | 3.343 | 3.414 | 3.479 |
| 13 | 1.153 | 1.710 | 2.073 | 2.338 | 2.545 | 2.714 | 2.856 | 2.978 | 3.085 | 3.180 | 3.266 | 3.343 | 3.413 | 3.478 |
| 14 | 1.151 | 1.709 | 2.072 | 2.337 | 2.545 | 2.714 | 2.856 | 2.978 | 3.085 | 3.180 | 3.265 | 3.342 | 3.413 | 3.478 |
| 15 | 1.150 | 1.708 | 2.071 | 2.337 | 2.544 | 2.713 | 2.855 | 2.977 | 3.084 | 3.179 | 3.265 | 3.342 | 3.412 | 3.477 |
| +∞ | 1.128 | 1.693 | 2.059 | 2.326 | 2.534 | 2.704 | 2.847 | 2.970 | 3.078 | 3.173 | 3.259 | 3.336 | 3.407 | 3.472 |

Anexo C



Impresso

| | |
|--|------------------------------|
| Nome do Impressor: Registo de Ensaios | Código: IMPIT061 A-02 |
|--|------------------------------|

| | | |
|-----------------------------------|---------------|----------------|
| Laboratório de Contadores de Água | | |
| Marca: _____ | Modelo: _____ | Calibre: _____ |

| Código | Índice | Estanquidade | Q _{máx} | Q _{trans} | | Q _{mín} | | Leituras |
|--------|--------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|----------|
| | | | | V _{real} : _____ (l) | Tempo: _____ (s) | V _{real} : _____ (l) | Tempo: _____ (s) | |
| 1 | A | | V _{real} : _____ (l) | | | | | LI |
| 2 | A | | Tempo: _____ (s) | | | | | LF |
| 3 | A | | T _{inicial} : _____ (°C) | | | | | LI |
| 4 | A | | T _{final} : _____ (°C) | | | | | LF |
| 5 | A | | P _{mont} : _____ (bar) | | | | | LI |
| 6 | A | | P _{uso} : _____ (bar) | | | | | LF |
| 1 | B | | V _{real} : _____ (l) | | | | | LI |
| 2 | B | | Tempo: _____ (s) | | | | | LF |
| 3 | B | | T _{inicial} : _____ (°C) | | | | | LI |
| 4 | B | | T _{final} : _____ (°C) | | | | | LF |
| 5 | B | | P _{mont} : _____ (bar) | | | | | LI |
| 6 | B | | P _{uso} : _____ (bar) | | | | | LF |
| 1 | C | | V _{real} : _____ (l) | | | | | LI |
| 2 | C | | Tempo: _____ (s) | | | | | LF |
| 3 | C | | T _{inicial} : _____ (°C) | | | | | LI |
| 4 | C | | T _{final} : _____ (°C) | | | | | LF |
| 5 | C | | P _{mont} : _____ (bar) | | | | | LI |
| 6 | C | | P _{uso} : _____ (bar) | | | | | LF |

| |
|--|
| Observações: |
| Data: ____/____/____ Assinatura: _____ |

Original: Laboratório de Contadores

IMPPG001 E-01

1/1

Figura C.1 – Impresso registo de ensaios a contadores de água.

Anexo D

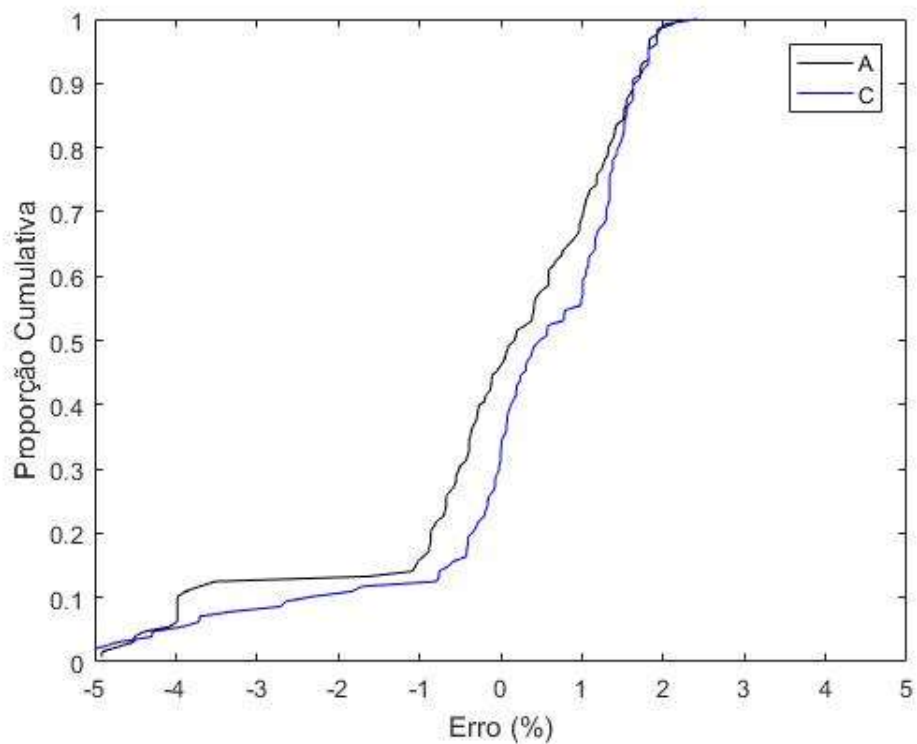


Figura D.1 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca A e da marca C (fonte: autor).

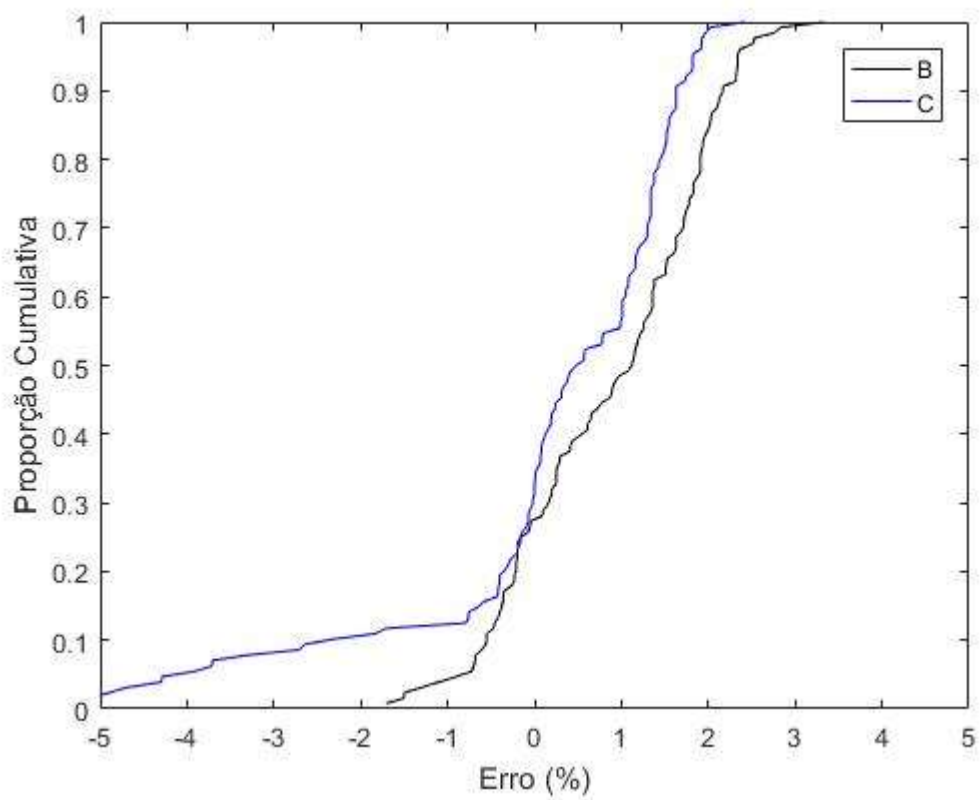


Figura D.2 - Representação das curvas cumulativas do erro para contadores da marca B e da marca C (fonte: autor).