

***Water-Energy Nexus***  
**Normalização, Produção e Utilização de Energia  
nos Processos da Água**

**David Emanuel da Silva Gomes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
2<sup>o</sup> ciclo de estudos

Orientador: Prof. Doutor António Eduardo Vitória do Espírito Santo

**junho de 2022**



## **Declaração de Integridade**

Eu, David Emanuel da Silva Gomes, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M10719 de Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade Engenharias, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 29 /06 /2022





**Um agradecimento especial à ENERAREA  
pela oportunidade de participação no projeto:**

**EERES4WATER PROJECT (EAPA 1058/2018)**

**Promoting Energy-Water Nexus resource  
efficiency through**

**Renewable Energy and Energy Efficiency**

**3.130.993,08 € (Funding: 2.348.244,81 €)**



# Agradecimentos

A presente dissertação representa o maior desafio do meu percurso académico até ao momento. Apesar de ser um trabalho individual, foram muitas as pessoas e entidades a quem agradeço todo o apoio.

O primeiro agradecimento é para o meu orientador, Prof. Doutor António Eduardo Vitória do Espírito Santo, por me ter acompanhado diretamente nesta caminhada ao longo dos últimos dois anos. Pela oportunidade de participar num projeto de investigação internacional e levar a conhecer o meu trabalho fora da universidade. Pelas oportunidades de apresentação em conferências e palestras, mas também pela oportunidade de fazer contactos com pessoas do meio que me proporcionou. Por todas as sugestões e revisões, mas também todo o incentivo, a apoio, conselhos e recomendações sábias que foram fundamentais ao longo deste ciclo.

À ENERAREA, na pessoa do Eng. Jorge Antunes e do Doutor Carlos Santos, pela oportunidade na participação do projeto EERES4WATER. Pelo acompanhamento e atenção prestada ao longo do projeto.

Às Águas da Covilhã, na pessoa do Eng. Tiago Leitão pelo conhecimento transmitido e contributo para conceção da metodologia fornecida.

Ao representante da Sewerin Portugal, na pessoa do Eng. Pedro Santos pelo acompanhante e pronta disponibilidade em ajudar e reunir sempre que solicitado.

Ao Museu dos Lanifícios da Covilhã e Museu da Eletricidade de Seia pela disponibilidade e contribuir para a contextualização histórica -desta dissertação.

À Prof. Doutora Tânia Lima, por todo o incentivo e apoio ao longo de todo o 2º Ciclo e que sempre teve um bom conselho.

Por último, alguns agradecimentos pessoais:

Aos meus avós, pais e tios por toda a paciência ao longo desta caminhada, não só da dissertação, mas de todo o percurso académico. Por me apoiar e por me aconselhar em cada passo.

À Carolina, por me ajudar e apoiar na elaboração desta dissertação, mas também por toda a paciência, amor e incentivo, para levar esta caminhada duma maneira ainda mais bonita até ao fim.

Por fim, ao Joel por todas as boas conversas e partilhas ao longo destes dois anos. Mas também ao Tomé, à Maria, à Ana, à Bruna, à Catarina e à Sara por toda amizade.





# Resumo

O conceito *Water-Energy Nexus* contribui, cada vez mais, para demonstrar que a água e a energia são recursos que estão inevitavelmente interligadas no quotidiano da nossa sociedade. A utilização da água é visível nos processos de produção de energia elétrica, e.g. na movimentação de turbinas hidráulicas, aproveitando a energia potencial gravítica armazenada nas albufeiras ou em centrais termoelétricas na produção do vapor que faz rodar os geradores. É também possível encontrar exemplos de utilização da energia elétrica em processos que envolvem água, no transporte, distribuição e armazenamento, na utilização de bombas para captação e finalmente no tratamento, do líquido mais precioso para vida na Terra, de modo a o devolver à natureza, com o mínimo impacto possível.

Este documento começa por descrever a interligação da água com a energia no passado. Em seguida, são descritas práticas atuais que visam otimizar a utilização destes dois recursos.

A temática da *Water-Energy Nexus* é atualmente alvo de estudos que visam adotar as novas tecnologias para obter os objetivos finais, bem como a formulação de diretrizes e normalização desde a distribuição, à pegada como medidor de desempenho e na gestão dos vários sistemas de energia. Esta dissertação analisa, portanto, a normalização existente no meio e procura as suas fragilidades de modo a incrementar o conceito.

É proposta uma Metodologia para a Localização Exata de Fugas de Água através de um equipamento eletroacústico, para que deste modo os processos da água se tornem mais eficientes e se desperdice menos água, e por consequente, menos energia no tratamento dessa mesma água. E ainda uma Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia que quantifica a energia que é possível poupar com a reparação dessas mesmas fugas.

## Palavras-chave

Nexus Água-Energia; EERES4WATER; Projeto de Investigação; Projeto de Investimento; Mini-hídrica; Geotermia; Sistema Integrado; Normalização; Fugas de Água; Equipamento Eletroacústico



# **Abstract**

In the Water-Energy Nexus, water and energy are increasingly intertwined in our daily lives as a society. Whether in the sense of water to energy, in the processes of generating electricity from the movement of hydraulic turbines, taking advantage of the gravitational potential energy in reservoirs or pipelines, or even in thermal power plants using steam to turn the generators. Whether in the sense of energy for water, in transport processes, distribution and storage, in the use of pumps for capturing and finally in the treatment, of the most precious liquid for human life, in order to return it to nature with the least possible impact.

This document seeks to understand how water was interconnected with energy in the past, and to describe implemented projects that optimize the use of these two resources. The Water-Energy Nexus is increasingly the subject of studies for new technologies, as well as the formulation of guidelines and standardization from distribution to footprint as a performance meter, and in the management of various energy systems. This dissertation analyses the existing standardization in the medium and looks for its weaknesses to increase the concept.

A Methodology is proposed for the Exact Location of Water Leaks through electro-acoustic equipment, so that in this way the water processes become more efficient and less water is wasted, and consequently, less energy in the treatment of water. And also a Methodology for Proactive Control of Water and Energy Losses that quantifies the energy that can be saved by repairing these leaks.

# **Keywords**

Water-Energy Nexus; EERES4WATER; Research Project; Investment Project; Mini-hydro; Geothermal; Integrated system; Normalization; Water leaks; Electroacoustic Equipment



# Índice

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xxv</b>
<b>Lista de Acrónimos</b>	<b>xxvii</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Âmbito do Trabalho	7
1.2. Principais Objetivos	9
1.3. Metodologia	9
1.4. Estrutura da Dissertação	12
<b>2. Water Energy Nexus</b>	<b>15</b>
2.1. Política Portuguesa	16
2.2. Eficiência Energética e Hídrica	18
2.3. Sistemas de Água e Energia	19
2.4. Comunidades Inteligentes	20
2.5. Autoconsumo e Comunidades de Energia Renovável	21
2.6. Normalização	22
2.7. Triângulo Energia-Comida-Água	22
2.8. Energia nos Processos da Água	23
2.9. Benefícios e Oportunidades	26
<b>3. Projetos de Produção de Energia</b>	<b>29</b>
3.1. Potencial das Energias Renováveis na Região Centro	29
3.1.1. Localização e Geografia	29
3.1.2. Socioeconómica	31
3.1.3. Relevo	32
3.1.4. Clima	34
3.1.5. Temperatura	34
3.1.6. Precipitação	36
3.1.7. Vento	37
3.1.8. Exposição Solar	38
3.1.9. Aproveitamentos de Água e Energia	39
3.2. Mini-hídrica Manteigas	40
3.2.1. Projeto	41
3.2.2. Execução do Projeto	42

3.3.	Aproveitamento geotérmico nas Termas de Fonte Santa no município de Almeida _____	42
3.4.	Parque Alexandre Aibéo - Jardim Botânico de Montanha (Covilhã) _____	44
<b>4.</b>	<b>Normalização no <i>Water-Energy Nexus</i> _____</b>	<b>51</b>
4.1.	Normas no Âmbito do Conceito _____	54
4.2.	Cenário de Aplicação _____	64
4.3.	Revisão Crítica _____	74
4.3.1.	Comunidades _____	75
4.3.2.	Produção de energia, integração de fontes renováveis e sistemas de distribuição de água e energia _____	78
4.3.3.	Infraestruturas _____	81
4.3.4.	Dados _____	81
4.3.5.	Reutilização de águas residuais _____	83
4.3.6.	Sistema de Gestão de Água como sendo Energia _____	84
4.3.7.	Conclusões da Revisão Crítica _____	87
<b>5.</b>	<b>Utilização de Energia nos Processos da Água _____</b>	<b>93</b>
5.1.	Processos da Água _____	93
5.2.	Utilização e Desperdícios de Energia _____	96
5.2.1.	Portugal _____	98
5.3.	Fugas de Água _____	101
5.3.1.	Revisão de Tecnologias para Localização de Fugas de Água _____	105
5.3.1.1.	Métodos Visuais _____	106
5.3.1.2.	Métodos Eletromagnéticos _____	106
5.3.1.3.	Métodos Acústicos _____	107
5.3.1.4.	Outros Métodos _____	109
5.3.2.	Geofone Adquirido _____	111
5.4.	Metodologia para a Localização Exata de Fugas de Água _____	115
5.5.	Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia _____	119
5.5.1.	Identificação e quantificação do problema _____	120
5.5.2.	Desenvolver a estratégia de controlo de perdas reais _____	122
5.5.3.	Aplicação do controlo de perdas reais _____	123
5.5.4.	Avaliação da componente hídrica _____	125
5.5.5.	Avaliação da componente energética _____	127
5.5.6.	Avaliação hídrica e energética conjunta _____	128
5.5.7.	Localização exata _____	130
5.5.8.	Reparação _____	131

5.5.9.	Avaliação contínua	132
5.6.	Caso de Estudo – Avaliação e Localização de Fugas de Água	134
<b>6.</b>	<b>Conclusão</b>	<b>139</b>
6.1.	Conclusões finais	139
6.2.	Disseminação de Resultados	141
6.2.1.	ENERTECH Sabugal 2021 – Feira das Tecnologias para a Energia	141
6.2.2.	Jornadas Técnicas – Digitalização e Eficiência Hídrica em Municípios, Associação Municípios Cova da Beira	141
6.2.3.	Encontro Semestral EERES4WATER, Évora, Abril 2022	142
6.2.4.	Sessão Técnica Nexus Água-Energia, Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental	143
6.3.	Trabalhos Futuros	144
<b>7.</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>147</b>
<b>8.</b>	<b>Apêndice I</b>	<b>163</b>
<b>9.</b>	<b>Apêndice II</b>	<b>165</b>



# Lista de Figuras

Figura 1 - Real Fábrica de Panos, Covilhã [2].....	1
Figura 2 - Planta do edificado fabril no séc. XVIII na Covilhã [3] .....	3
Figura 3 - Planta do edificado fabril no séc. XIX na Covilhã [3] .....	3
Figura 4 - Planta do edificado fabril no séc. XX na Covilhã [3] .....	4
Figura 5 - Mapa das centrais hidroelétricas interligadas em cascata, Serra da Estrela ...	7
Figura 6 - Logótipo do Projeto EERES4WATER.....	7
Figura 7 - Logótipo Interreg Atlantic Area - European Regional Development Fund .....	8
Figura 8 - Logótipo da ENERAREA - Agência Regional de Energia e Ambiente do Interior .....	9
Figura 9 – Metodologia de trabalho utilizada .....	11
Figura 10 - Esquema exemplificativo do Nexus Água-Energia .....	15
Figura 11 – Triângulo Energia-Comida-Água.....	23
Figura 12 - Consumo de eletricidade no setor da água por processos e região, 2014 [33] .....	24
Figura 13 - Balanço Hídrico, de acordo com a definição da International Water Association [34] .....	24
Figura 14 - Ilustração do Nível Económico de Perda [34].....	26
Figura 15 - a) Região Centro, Portugal [37] b) Concelhos Região Centro e suas zonas [38] .....	29
Figura 16 - a) Portugal Continental com região da Beira Interior a vermelho [39] b) Concelhos da Beira Interior, a cor-de-laranja distrito da Guarda e a amarelo distrito de Castelo Branco [40] .....	30
Figura 17 - Cordilheira Sistema Central, Península Ibérica [41] .....	31
Figura 18 - a) Mapa hipsométrico Portugal Continental [42] b) Mapa Hipsométrico Região Centro [43].....	33
Figura 19 - Mapa Hipsométrico da Beira Interior [44] .....	33
Figura 20 - a) Média da temperatura média do ar - Janeiro 2020 b) média da temperatura média do ar - Julho 2020 [45].....	35
Figura 21 - a) Média da temperatura mínima do ar - Janeiro 2020 b) Média da temperatura máxima do ar - Julho 2020 [45].....	36
Figura 22 - Precipitação total em 2018 e 2019 [46] .....	37
Figura 23 - Velocidade média do vento a 80 metros do solo (m/s) em Portugal [47] ...	38
<i>Figura 24 - Radiação solar em 2018 e 2019 em Portugal [46].....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 25 - Mapa das centrais hidroelétricas da Região Centro .....</i>	<i>40</i>
Figura 26 - a) Aqueduto com 360m b) Conduta adutora .....	40

Figura 27 - Esquema representativo da queda útil .....	41
Figura 28 - Turbina do tipo Banki com 40cv de potência e alternador com potencia de 32kVA.....	41
Figura 29 - Grupo Turbina-Alternador de 107,7kVA, com turbina do tipo Francis. ....	42
<i>Figura 30 - Exemplo de gestão integrada de um sistema de Água e Energia.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31 - Exemplo de sistema integrado de água e energia. ....</i>	<i>47</i>
Figura 32 - Funções dos Sistemas de Energia.....	52
Figura 33 - Funções dos Sistemas de Água .....	52
Figura 34 - Funções dos Sistemas de Esgotos.....	52
Figura 35 - Interação entre Production Management System e o Demand Mangement System .....	65
Figura 36 - Cenário de aplicação das normas ao Water Energy Nexus .....	66
Figura 37 - Sistema de gestão de energia do cenário de aplicação das normas.....	67
Figura 38 - Cenário com aplicação das normas ao Water Energy Nexus .....	71
Figura 39 - Sistema de Gestão de Energia do Cenário com Aplicação das Normas .....	73
Figura 40 - Interconectividade das normas .....	88
Figura 41 - Esquema resumo dos processos da água padrão em Portugal .....	96
Figura 42 - Consumos típicos de energia nos processos do setor da água [33].....	97
Figura 43 - Consumos típicos de energia numa ETAR [33] .....	98
Figura 44 - Consumo de Energia no setor das águas em Portugal Continental [174] ....	99
Figura 45 - Repartição do consumo de energia no setor das águas em Portugal Continental [174].....	99
Figura 46 - Consumo de energia no subsetor do Abastecimento de Água [174] .....	100
Figura 47 - Consumo de energia no subsetor do Saneamento de Águas Residuais [174] .....	100
Figura 48 - Perdas de Água por Região, 2014 [33] .....	102
Figura 49 - Subdivisão interna de áreas, sem suspensão de abastecimento [34].....	103
Figura 50 - Fecho sequencial, com suspensão de abastecimento [34] .....	104
Figura 51 - Mapeamento das pressões em linhas de abastecimento [34].....	105
Figura 52 - Tecnologias para a Detecção de Fugas de Água .....	106
Figura 53 - Funcionamento da tecnologia GPR [175].....	107
Figura 54 – a) Exemplo de Vara de Escuta para locais apropriados de aplicação b) Exemplo de Vara de escuta/Geofone para deteção de fugas de água em vários tipos de solo .....	108
Figura 55 – a) Exemplo de Correlador Portátil b) Exemplo de Correlador Permanentemente instalado em redes de distribuição de água .....	108

Figura 56 – a) Exemplo de Registador de Ruído b) Exemplo de Distribuição de Registadores de ruído para posterior recolha de leituras [176] .....	109
Figura 57 - Funcionamento da tecnologia de Gás Traçador [178] .....	110
Figura 58 - Exemplo das imagens recolhidas e análise do algoritmo. a) imagem com esquema de rede de distribuição b) na imagem a esbranquiçado as possíveis fugas c) a vermelho depois da análise do algoritmo as reais possíveis fugas de água [179].....	110
Figura 59 - Menu Inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, com exclusão da função de Correlação [180] .....	112
Figura 60 - Equipamento registador de ruído, SePem 100 Sewerin [182] .....	116
Figura 61 - a) Áreas assinaladas como suspeitas de fugas de água com registos de ruídos elevados            b) Áreas suspeitas com as respetivas frequências para avaliação do utilizador.....	116
Figura 62 – a) Menu inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, função de “Detecção de Fuga”, pré-localização b) Menu da função “Detecção da Fuga” [180] .....	117
Figura 63 - a) Aspeto exemplo da etapa de pré-localização com vara de escuta TS200, microfone TM200 e punção para TM200 b) A azul as zonas de contacto com a rede para a pré-localização [181] .....	117
Figura 64 - Menu inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, função de "Localização no Tubo" b) Menu da função "Localização no Tubo" [180] .....	118
Figura 65 – a) Aspeto exemplo da etapa de localização com vara de escuta TS200 e microfone BM200   b) A azul o pavimento onde pode ser utilizado o BM200 para localização [181].....	118
Figura 66 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia geral....	119
Figura 67 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, identificação e quantificação do problema .....	120
Figura 68 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, desenvolver a estratégia de controlo de perdas reais .....	122
Figura 69 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, aplicação do controlo de perdas reais.....	123
Figura 70 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação da componente hídrica .....	125
Figura 71 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação da componente energética .....	127
Figura 72 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação hídrica e energética conjunta.....	128
Figura 73 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, localização exata.....	130

Figura 74 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, reparação .....	131
Figura 75 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação contínua.....	132
Figura 76 - Operação “Detecção de Fuga” para pré-localização, com a Vara de Escuta TS200 instalada .....	136
Figura 77 - Operação “Localização no Tubo” para localização exata, com a Microfone BM200 instalado.....	137
Figura 78 - Apresentação "Normalização no Nexus Água- Energia", ENERTECH 2021 .....	141
Figura 79 - Apresentação "Monitorização e Gestão de Fugas de Água em Sistemas de Distribuição em Baixa", Jornadas Técnicas – Digitalização e Eficiência Hídrica, Associação de Municípios Cova da Beira .....	142
Figura 80 - Encontro Semestral do projeto EERES4WATER, Évora, Abril 2022 .....	143





## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Mecanismos de produção de energia ao longo dos anos na Covilhã [4].....	5
Tabela 2 - Principais características das albufeiras da cascata da Serra da Estrela [5] ...	5
Tabela 3 - Principais características das centrais hidroelétricas da cascata da Serra da Estrela [5] .....	6
Tabela 4 - Metas nacionais setoriais de redução de emissões de CO <sub>2</sub> face a 2005 [9] ...	17
Tabela 5 - Trajetória indicativa e contributo de Portugal para a meta vinculativa da União em 2030 [9] .....	17
Tabela 6 - Trajetórias estimadas para a quota setorial de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 [9] .....	17
Tabela 7 - Características Socioeconómicas da Região Centro.....	31
Tabela 8 - Municípios mais populosos da Região Centro [36].....	31
Tabela 9 - Municípios mais populosos da Beira Interior [36].....	32
Tabela 10 - Lista de Normas Aplicáveis ao Water Energy Nexus.....	61
Tabela 11 - Equipamentos analisados através do estudo de mercado .....	111
Tabela 12 - Equipamento aconselhado para compra.....	111
Tabela 13 – Componentes Adquiridos do Aquaphon A200 GNSS com a troca da unidade central pela do SeCorrPhon AC200 GNSS [181] .....	112
Tabela 14 – Infraestruturas desde a origem até à zona da fuga e Contagens Hídricas e Energéticas.....	135
Tabela 15 - Custos Energéticos por Infraestrutura.....	135
Tabela 16 - Tabela Resumo do Caso de Estudo .....	137



# Lista de Acrónimos

<i>AA</i>	<i>Atlantic Area</i>
<i>AdP</i>	<i>Águas de Portugal</i>
<i>AQS</i>	<i>Águas Quentes Sanitárias</i>
<i>CARL</i>	<i>Current Annual Real Losses</i>
<i>CER</i>	<i>Comunidades de Energia Renovável</i>
<i>EFW</i>	<i>Energy Food Water</i>
<i>ENERAREA</i>	<i>Agência Regional de Energia e Ambiente do Interior</i>
<i>EPAL</i>	<i>Empresa Pública das Águas Livres</i>
<i>ETA</i>	<i>Estação de Tratamento de Água</i>
<i>ETAR</i>	<i>Estação de Tratamento de Águas Residuais</i>
<i>EU</i>	<i>União Europeia</i>
<i>FER</i>	<i>Fontes de Energia Renovável</i>
<i>GEE</i>	<i>Gases Efeito de Estufa</i>
<i>GPR</i>	<i>Ground Penetrating Radar</i>
<i>IEA</i>	<i>International Energy Agency</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<i>ILI</i>	<i>Infrastructure Leakage Index</i>
<i>IOC</i>	<i>Intelligent Operation Center</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>IPMA</i>	<i>Instituto Português Mar e Atmosfera</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>IWA</i>	<i>International Water Association</i>
<i>NEP</i>	<i>Nível Económico de Perdas</i>
<i>NEPr-CP</i>	<i>Nível Económico de Perdas Reais no Curto Prazo</i>
<i>NEPrE-CP</i>	<i>Nível Económico de Perdas Reais e Energia no Curto Prazo</i>
<i>NEPr-LP</i>	<i>Nível Económico de Perdas Reais no Longo Prazo</i>
<i>ODS</i>	<i>Objetivos Desenvolvimento Sustentável</i>
<i>ONU</i>	<i>Organização das Nações Unidas</i>
<i>PAT</i>	<i>Pump as Turbine</i>
<i>PNEC</i>	<i>Plano Nacional Energia e Clima</i>
<i>RESP</i>	<i>Rede Elétrica de Serviço Público</i>
<i>RNC</i>	<i>Roteiro Neutralidade Carbónica</i>
<i>SCF</i>	<i>System Correction Factor</i>
<i>UARL</i>	<i>Unavoidable Annual Real Losses</i>

UBI	Universidade da Beira Interior
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
WEN	<i>Water Energy Nexus</i>
ZMC	Zona de Monitorização e Controlo





# 1. Introdução

A água e a energia só na última década começaram a ser consideradas e estudadas em conjunto, mas a sua utilização conjunta já pode ser encontrada no passado. Nesta introdução são descritos dois casos: O “Aproveitamento dos Recursos Hídricos na História dos Lanifícios da Covilhã” e ainda o aproveitamento hídrico da “Cascata da Serra da Estrela”.

## **Aproveitamento dos Recursos Hídricos na História dos Lanifícios da Covilhã**

A Covilhã está localizada numa das encostas da Serra da Estrela, devido à sua privilegiada localização prima pela abundância de recursos hídricos. Pelas encostas da montanha encontramos imensos locais de pasto, que alimentam os diversos rebanhos de ovelhas, tão característicos da região, estes vão fornecer a lã necessária para o desenvolvimento das indústrias dos lanifícios. A Covilhã situa-se entre duas ribeiras, Goldra e Carpinteira, fundamentais para o desenvolvimento das indústrias. Com tais características, D. Sancho I reconheceu na Covilhã um potencial desperdiçado e concedeu-lhe o foral em 1186, com objetivo de povoar a cidade. Foral que aborda o gado e os panos de lã e linho, elementos principais na economia da cidade.

Surgiram então as primeiras oficinas em redor das ribeiras da Covilhã, tinham como principal ofício a lavagem e acabamento de tecidos. Estas primeiras indústrias eram pequenas oficinas localizadas nas habitações, e daí resultaram os primeiros panos. Em 1703 a crise económica começa a surgir em Portugal, e entre outras medidas tomadas, o país começa a priorizar a produção das fardas para o exército em vez da exportação [1]. Como tal surge a Real Fábrica dos Panos, Figura 1, e D. João V estabelece a estratégia de proteção do pano nacional, e proíbe o regadio para que a utilização da água fosse totalmente para a produção fabril.

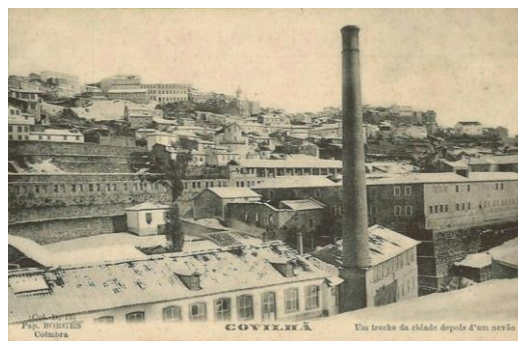


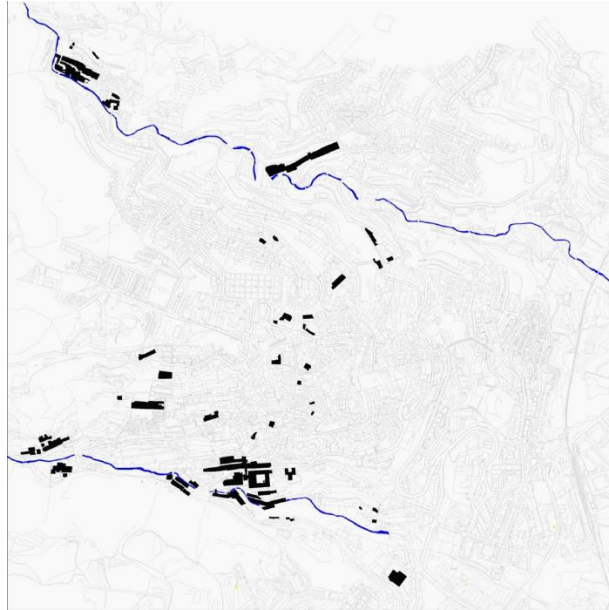
Figura 1 - Real Fábrica de Panos, Covilhã [2]

Durante o período Pombalino, a industrialização começa a surgir levando a uma modernização da produção. O conceito de fábrica surge, assim como a divisão do trabalho por categorias, e começam a surgir mais unidades fabris. A Covilhã tinha na altura cinco fábricas com privilégios reais e grande parte da população da região trabalhava nos lanifícios.

Devido à crescente quantidade de indústrias laneiras foi necessário começar a apostar na formação, em 1864 Fontes Pereira de Melo criou a Escola Industrial da Covilhã. As indústrias continuam a crescer, e Luís I atual rei eleva Covilhã a cidade. A constante modernização das fábricas e a crescente industrialização substituem a mão de obra operária. Como consequência são eliminados inúmeros de postos de trabalho que, conseqüentemente, levam a várias greves na região. A Manchester Portuguesa não aguentou a competitividade face às novas indústrias e as fábricas foram abandonadas. De forma a dar utilidade aos diversos edifícios abandonados, a Câmara Municipal da Covilhã decidiu ocupar os edifícios, avançando com a instalação da Universidade da Beira Interior e respetivo museu dos lanifícios, que retrata toda a história da cidade assim como a evolução das unidades fabris.

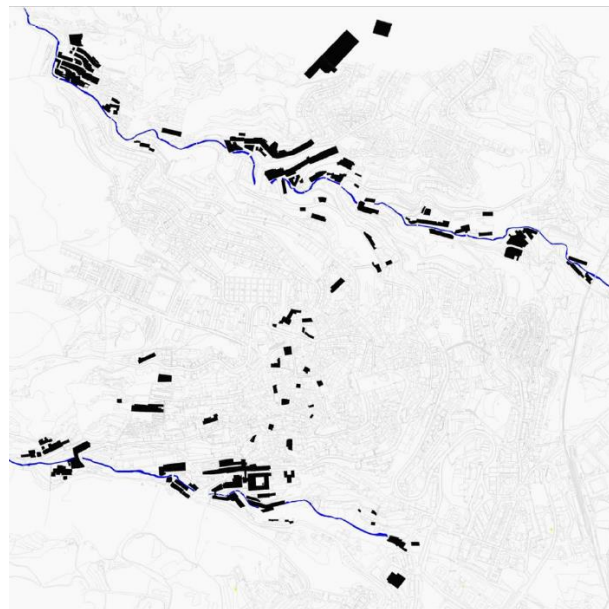
### **A água e as ribeiras de Goldra e Carpinteira**

Na indústria dos lanifícios a água é uma das matérias mais importantes, estando presente em diversas fases do processo do tratamento da lã. Como tal, os edifícios fabris foram instalados todos em redor das ribeiras da cidade. Devido à sua extrema importância foram proibidos os regadios para que a água pudesse ser utilizada na totalidade pelas indústrias. A Real Fábrica de Panos surge com o objetivo de unificar todo o processamento da lã num único local, permitindo um melhor aproveitamento dos recursos, nomeadamente a água e a energia inerente. A partir deste momento a Covilhã começou a edificar a cidade em volta da ribeira da Goldra e, posteriormente, da ribeira da Carpinteira, Figura 2.



*Figura 2 - Planta do edificado fabril no séc. XVIII na Covilhã [3]*

O declive das ribeiras que descem a montanha permitiu que a sua força hidráulica fosse aproveitada. Foram instaladas as primeiras rodas de propulsão hidráulica que permitia a utilização da energia da água na indústria. O aproveitamento da energia hidráulica foi aplicado pela primeira vez na fábrica de Simão Pereira da Silva em 1815, no séc. XIX, em que é possível visualizar o edificado na Figura 3.



*Figura 3 - Planta do edificado fabril no séc. XIX na Covilhã [3]*

No final do séc. XX entre oficinas e fábricas existiam um total de 104 edifícios destinados aos lanifícios, sendo que 47 eram na ribeira da Carpinteira e 41 na ribeira da Goldra, Figura 4. Mas, devido ao atraso na implementação das novas tecnologias em detrimento da manufatura, a Covilhã perdeu poder competitivo e assim começou o declínio da Manchester portuguesa, que como referido anteriormente levou ao abandono de quase todas as fábricas.



*Figura 4 - Planta do edificado fabril no séc. XX na Covilhã [3]*

### **As energias no tempo dos lanifícios na Covilhã**

Quando as indústrias surgiram, as máquinas não faziam parte da rotina dos operadores. A força muscular, energia a sangue, tanto de pessoas como de animais colocava em funcionamento os mais variados equipamentos, como rodas, turbinas e moinhos.

No entanto, para a força muscular acionar as máquinas de grande porte era exigida uma grande quantidade de operadores. Na idade média a água e o vento serviram como força motriz. A energia eólica colocava os moinhos em funcionamento, e a energia hidráulica permitia que as rodas hidráulicas alimentassem fábricas inteiras com a sua grande potência.

A revolução industrial chegou, assim como a máquina a vapor, que passou a utilizar carvão para gerar vapor de água. A tecnologia continua a avançar e por volta do séc. XX surgem os primeiros motores e aplicação da energia elétrica que transformava as fontes de energia anteriormente referidas em eletricidade, Tabela 1.

Tabela 1 - Mecanismos de produção de energia ao longo dos anos na Covilhã [4]

<b>Ano</b>	<b>Energia Hidráulica</b>	<b>Energia a Vapor</b>	<b>Energia Elétrica</b>
1864	67 rodas hidráulicas	1 máquina a vapor	
1881	86 rodas hidráulicas	13 motores a vapor	
1890	78 rodas hidráulicas	21 máquinas a vapor	
1911	79 rodas hidráulicas	30 motores a vapor	24 motores de explosão
1943	19 rodas hidráulicas 10 turbinas hidráulicas	1 motor a vapor 38 geradores para caldeiras a vapor	916 motores elétricos 16 motores de explosão

### **Cascata da Serra da Estrela**

O aproveitamento descrito de seguida localiza-se na encosta oeste da Serra da Estrela, é chamada de Cascata Hidroelétrica da Serra da Estrela. Um complexo de Barragens e Centrais Hidroelétricas interligadas através de tuneis subterrâneos, canais e condutas forçadas.

As águas captadas do degelo das neves e das chuvas, nos covões e nas lagoas, devido aos invernos rigorosos, são armazenadas em albufeiras, Tabela 2, interligadas através dos túneis subterrâneos existentes, também denominados de galerias. Do Vale do Rossim para o Lagoacho com um túnel com cerca de 3000 metros. E do Covão do Meio e do Covão dos Conchos para a Lagoa Comprida, com 3500 metros e 1500 metros, respetivamente.

Tabela 2 - Principais características das albufeiras da cascata da Serra da Estrela [5]

<b>Albufeiras</b>	<b>Capacidade úteis (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Barragens Alt. Útil. (m)</b>
Lagoa Comprida	13 880 000	28.24
Vale do Rossim	3 400 000	17.00
Lagoacho	1 525 000	36.00
Covão do Meio	1 140 000	21.40
<i>Total</i>	19 945 000	

Das albufeiras da Lagoa Comprida e do Lagoacho seguem canais até às câmaras que irão conduzir a água através das condutas forçadas, e que levam a água até às centrais hidroelétricas onde a energia hidráulica é transformada em energia elétrica, Tabela 3. Cada central tem o seu conjunto de condutas forçadas de modo a controlar o caudal recebido. A cada conjunto de condutas forçadas está também associada uma câmara de carga em que existe um “gradão” que limpa os inertes sólidos da água.

Tabela 3 - Principais características das centrais hidroelétricas da cascata da Serra da Estrela [5]

<b>Centrais</b>	<b>Nº Grupos</b>	<b>Tipo Turbinas</b>	<b>Potência Máxima (MW)</b>	<b>Produtibilidade Média Anual (GWh)</b>
<i>Lagoa Comprida</i>	1	Francis	0.632	1.7
<i>Sabugueiro 1</i>	3	Pelton	12.8	48
<i>Sabugueiro 2</i>	1	Pelton	10	28
<i>Desterro 1 (Museu)</i>	4	Pelton		
<i>Desterro 2</i>	2	Francis	13.2	40
<i>Ponte Jugais</i>	2	Francis	20.3	57
<i>Vila Cova</i>	2	Francis	23.4	64
<i>Total</i>	15			238.7

Em Seia, no ano de 1909, era inaugurada a primeira central hidroelétrica, onde hoje se situa o Museu da Eletricidade de Seia. Esta permitiu que a energia elétrica chegasse àquela região. Pela primeira vez surge na Serra da Estrela, sensivelmente a 800 metros de altitude, a primeira central hidroelétrica. A central iria ser a primeira de 4, contruídas ao longo de 6 décadas, sobre o Rio Alva, que percorrem altitudes entre os 400 e 1600 metros. À primeira central do Desterro seguiu-se-lhe a Ponte de Jugais em 1922 (565m alt.), Vila Cova em 1937 (342 m alt.) e, mais tarde, em 1947, a primeira central do Sabugueiro (985m alt.), que foi ampliada com mais uma central em 1993. No Sabugueiro houve a necessidade de implementação de duas centrais para que fosse possível aproveitar ao máximo a água provinda de duas zonas distintas, da Lagoa Comprida e do Lagoacho. Na Figura 5, é demonstrado a Cascata da Serra da Estrela, que é possível visualizar com mais pormenor no Apêndice I.

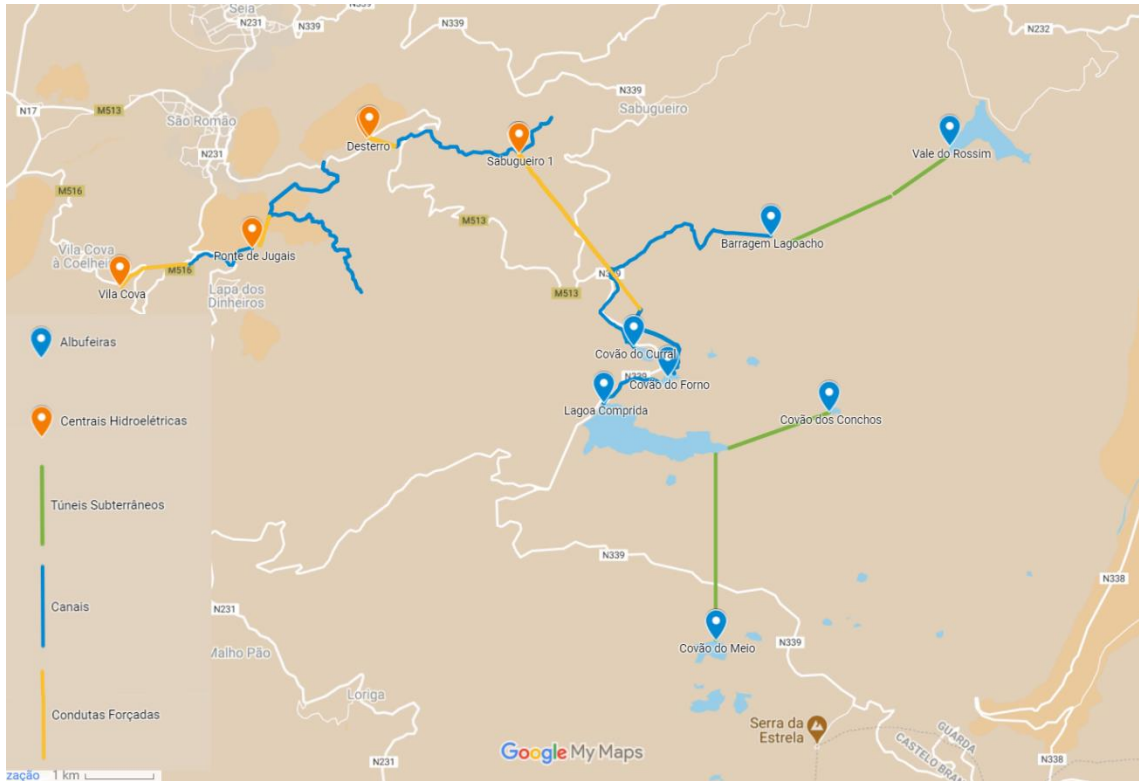


Figura 5 - Mapa das centrais hidroelétricas interligadas em cascata, Serra da Estrela

### 1.1. Âmbito do Trabalho

Esta dissertação está inserida no projeto EERES4WATER, cujo logótipo pode ser visualizado na Figura 6. Estão inseridos neste projeto 5 países da *Atlantic Area* (AA) nomeadamente Portugal, Espanha, França, Irlanda e Inglaterra. Dentro destes países existem entidades privadas, governativas, publicas e público-privadas a colaborar para incrementar o Nexus Água-Energia, promovendo a utilização destes dois recursos de forma conjunta ao invés de forma independente.



Figura 6 - Logótipo do Projeto EERES4WATER

Este projeto teve uma duração de 3 anos, com uma extensão de 6 meses devido à situação pandémica mundial, terminando em setembro de 2022, com um orçamento total de

cerca de 3 milhões de euros, financiado pelo Interreg Atlantic Area – European Regional Development Fund, Figura 7.



*Figura 7 - Logótipo Interreg Atlantic Area - European Regional Development Fund*

O projeto EERES4WATER reforça o quadro institucional, técnico e social para promover o uso direto de fontes renováveis de energia e eficiência energética no ciclo da água, influenciando as políticas relacionadas e introduzindo novos processos e tecnologias. Os objetivos específicos do projeto são:

- fornecer recomendações de políticas e estruturas legais para administradores públicos;
- desenvolver soluções tecnológicas inovadoras;
- desenvolver ferramentas para tomada de decisão e dispositivos de suporte;
- estabelecer acordos de cooperação entre academias e o setor privado;
- fornecer informações e consciencializar para a eficiência de recursos.

No fim do projeto espera-se atingir:

- desbloqueio de recursos domésticos na AA e melhoria da sustentabilidade de processos e políticas relacionadas com o ciclo da água;
- + 5% da capacidade instalada de energia renovável e adoção de padrões de eficiência energética por meio de lançamento de novos produtos;
- condições mais favoráveis para os setores locais de energia renovável e eficiência energética, levando a um melhor posicionamento da AA na criação de novas cadeias de valor, estratégias, empregos e crescimento regional.

Esta dissertação encontra-se inserida no trabalho que estava delegado à ENERAREA, Figura 8. O papel da ENERAREA no EERES4WATER consiste em estudar as barreiras e analisar o quadro político tendo em vista promover o uso de fontes de energia renovável e dispositivos de alta eficiência ligados às tecnologias da água. Este estudo serviu para avaliar o estado do Nexus Água-Energia, relativamente às competências versus necessidades dos desenvolvedores de projetos de energia renovável e fornecedores de

tecnologia. Auxiliar a criar uma visão energética para a área, incluindo as metas para a redução de consumos de energia e o uso de energias renováveis.



*Figura 8 - Logótipo da ENERAREA - Agência Regional de Energia e Ambiente do Interior*

## **1.2. Principais Objetivos**

O principal objetivo deste documento é demonstrar a importância e os benefícios da integração de sistemas de água e energia e incrementar o conceito do Nexus Água-Energia.

Concretamente, esta dissertação pretende rever estado da arte do conceito, demonstrar o potencial das energias renováveis em sistemas integrados de energia e água, investigar a importância da normalização no conceito e aplicação a contextos reais, fazer o estudo do custo de energia nos processos da água, avaliar as perdas de energia quando existem perdas de água e apresentar uma solução para deteção das fugas de água.

## **1.3. Metodologia**

Este documento experimenta vários tipos de investigação. Cada capítulo tem o seu estilo e um papel importante na estrutura da dissertação, de modo a cumprir com os objetivos dispostos no subcapítulo anterior.

A metodologia utilizada, Figura 9, inicia-se com uma demonstração de como a água e energia trabalham em conjunto desde os nossos antepassados, relatadas através de informações recolhidas no Museu dos Lanifícios na Covilhã e no Museu da Eletricidade em Seia. Ainda na introdução é contextualizada a dissertação no projeto de investigação EERES4WATER e no capítulo seguinte é feita uma revisão bibliográfica abrangente de diversos conceitos e políticas atuais.

Seguem-se os três principais blocos da dissertação. Sendo que no primeiro são analisados dados para caracterizar o potencial das energias renováveis e de seguida é utilizada a investigação descritiva para demonstrar como podem ser aproveitadas essas mesmas

energias interligando a água e energia. Para descrever os projetos foram feitas visitas técnicas aos locais, realizadas questões aos responsáveis e análise da documentação existente. São depois inferidas as conclusões relativamente a estes projetos e analisadas as valências, desafios e oportunidades de melhoria dos mesmos.

Relativamente ao capítulo da normalização é elaborada uma revisão bibliográfica específica em que são analisados, maioritariamente, casos de estudo de aplicação de normas no conceito nexus água energia e de outras partes integrantes. A partir de uma investigação exploratória são identificadas as normas existentes, que têm aplicação no contexto, e colocadas num cenário de aplicação para permitir a sua visualização no contexto real. Na conclusão deste capítulo é feita uma análise crítica tanto às lacunas como detetados os pontos fortes e indicado um possível caminho para a completa normalização deste conceito.

Na última das sessões principais, é elaborada uma revisão bibliográfica dedicada aos processos da água. Uma análise do desperdício de energia agregada ao desperdício da água e a revisão de tecnologias na deteção e localização de fugas de água. É ainda elaborada uma metodologia a aplicar na localização exata de fugas de água e uma metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia que permite analisar a água perdida e o impacto no desperdício de energia.

Em suma, o documento possui quatro componentes: a revisão bibliográfica geral e específica de cada um dos temas, a demonstração de projetos que interligam água e energia, a identificação e análise da normalização que facilita a interligação de sistemas, e por fim, uma metodologia que permite aumentar a eficiência de sistemas de distribuição de água através de um planeamento e uso de equipamento para deteção e localização de fugas de água.

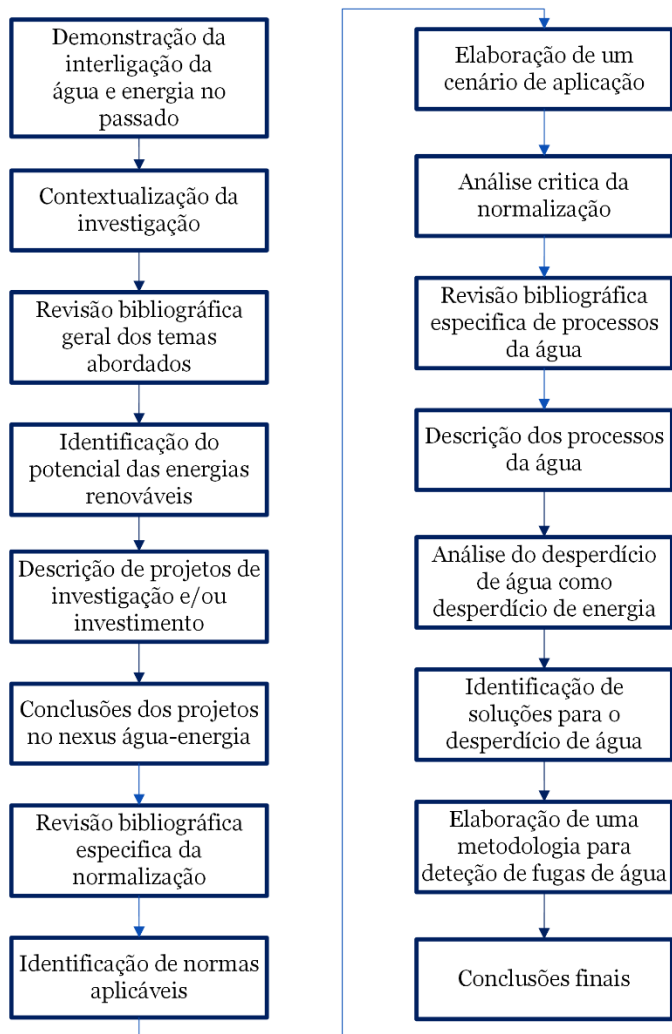


Figura 9 – Metodologia de trabalho utilizada

## **1.4. Estrutura da Dissertação**

A dissertação está dividida em 5 Capítulos:

O capítulo da Introdução é iniciado com uma breve história da utilização de recursos hídricos na época dos lanifícios. Em seguida é apresentado o âmbito da dissertação inserido no projeto EERES4WATEER, os principais objetivos do documento, a metodologia utilizada e, neste mesmo subcapítulo, a estrutura da dissertação.

No capítulo *Water Energy Nexus* é elaborada uma revisão bibliográfica geral do tema, abordando aspetos relevantes aos temas abordados nos capítulos seguintes.

No capítulo de Projetos de Produção de Energia é apresentada uma introdução em que se realiza o levantamento do potencial das energias renováveis na região centro de Portugal. De seguida são apresentados 3 projetos de aproveitamento de energias renováveis na região centro com o intuito de promover a utilização de fontes de energia renováveis.

O capítulo da normalização no *Water Energy Nexus* é iniciado com uma revisão bibliográfica do tema, com incidência em arquiteturas de referência e na aplicação de normas em casos de estudo. É elaborado um levantamento de normas internacionais aplicáveis no contexto e contruído um cenário para melhor visualização da aplicação das mesmas. Termina este capítulo com uma análise crítica avaliando o impacto dessas normas.

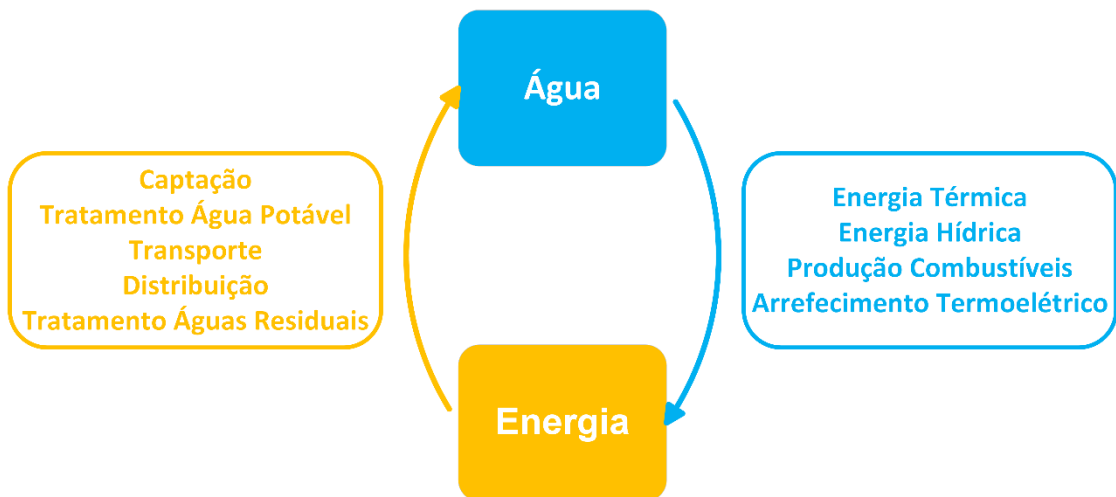
No último dos principais capítulos deste documento, na utilização de energia nos processos da água, é elaborada uma revisão bibliográfica do tema em que é descrita a utilização de energia desde a captação de água ao tratamento de águas residuais. São ainda apresentados os desperdícios de energia nos processos da água e uma metodologia de resolução, da problemática anteriormente apresentada, para a deteção de fugas de água através de um equipamento eletroacústico.





## 2. Water Energy Nexus

Water-Energy Nexus, o conceito que juntou a água e a energia para serem estudados em conjunto, ao invés de tentar otimizar cada recurso em separado. A exigência das comunidades inteligentes nunca foi tão grande seja qual for o sentido desta forte interligação. Exemplos das suas utilizações, Figura 10, em sentidos inversos, são obviamente a utilização de energia nos processos da água, seja no seu transporte, tratamento, distribuição, ou na utilização de equipamentos de captação [6]. No sentido de água para energia podemos exemplificar com a utilização da água para produção de energia através da energia potencial gravítica nela contida em albufeiras, ou mesmo aproveitando a energia térmica para geração de energia [6].



*Figura 10 - Esquema exemplificativo do Nexus Água-Energia*

É incontestável o papel que a energia e a água tem na vida do ser humano. Esta necessidade para otimizar recursos, surge devido ao aumento de consumos de eletricidade e água. Estes aumentos podem dever-se a várias razões tais como [6]–[9]:

- crescimento da população mundial;
- aumento do nível de urbanização;
- aumento do nível da qualidade de vida;
- eletrificação de consumos;
- alterações climáticas.

## **2.1. Política Portuguesa**

Em Portugal, para combater as alterações climáticas, foi elaborado o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, estabelecendo a estratégia a longo prazo com vista as três principais metas propostas no Acordo de Paris, sendo elas [9]:

- limitar o aumento médio da temperatura global abaixo dos 2°C e prosseguir o esforço para limitar a 1,5°C;
- aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas e promover a resiliência dos sistemas e o desenvolvimento de baixo carbono;
- alinhar as ajudas financeiras para os objetivos.

O setor electroprodutor é aquele que mais potencial tem na redução de emissão de Gases Efeito Estufa (GEE) na próxima década, 2020-2030, em Portugal. Neste setor perspectiva-se que se reduza em 97% até 2040 e 100% até 2050, através da utilização de energias renováveis. Uma das soluções passa por obter o armazenamento de energia em baterias associadas a painéis solares fotovoltaicos. Na vertente hídrica através da bombagem pretende-se obter até 2030 um valor potência de 3.4GW. O objetivo final do conjunto de baterias e hídrica com bombagem representem em 2050 uma potência de 7,5GW, aproximadamente 14% do total de capacidade instalada possibilitando a gestão de energia aquando da sua procura [9].

No Plano Nacional para a Energia e Clima (PNEC) 2030, para o período 2021-2030, Portugal propôs-se a [10]:

- priorizar a eficiência energética e eletrificação de consumos bem como reforçar a diversificação de fontes de energias renováveis;
- melhorar as infraestruturas de distribuição elétrica e modernizar os sistemas de gestão;
- promover processos, produtos e equipamentos de baixo carbono e promover escolhas sustentáveis por parte dos consumidores.

Portugal propôs-se a cumprir as metas apresentadas na Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6.

Tabela 4 - Metas nacionais setoriais de redução de emissões de CO<sub>2</sub> face a 2005 [9]

	2020	2030
<i>Serviços</i>	-65%	-70%
<i>Residencial</i>	-14%	-35%
<i>Transportes</i>	-14%	-40%
<i>Agricultura</i>	-8%	-11%
<i>Resíduos e águas residuais</i>	-14%	-30%

Tabela 5 - Trajetória indicativa e contributo de Portugal para a meta vinculativa da União em 2030 [9]

	2020	2022	2025	2027	2030
<i>Renováveis no consumo final bruto de energia</i>	31%	34%	38%	41%	47%

Tabela 6 - Trajetórias estimadas para a quota setorial de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 [9]

	2020	2025	2030
<i>Eletricidade</i>	60%	69%	80%
<i>Aquecimento e Arrefecimento</i>	34%	36%	38%
<i>Transportes</i>	10%	13%	20%

Relativamente às metas apresentadas anteriormente é de salientar algumas medidas concretas na utilização de energia renováveis para produção de eletricidade relativamente à água:

**Hidroeletricidade** – Irá ser concluído o complexo Hidroelétrico do Alto Tâmega constituído por três aproveitamentos hidroelétricos. Gouvães com bombagem, Alto Tâmega com turbinação e Daivões com turbinação. Ainda na Madeira a ampliação do Aproveitamento Hidroelétrico da Calheta.

**Geotermia** – Devido ao excelente potencial nos Açores, até 2030, é expectável alcançar a produção máxima na região. Através de projetos-piloto de profundidade dada a redução dos custos na perfuração.

**Solar Térmico Concentrado** – Promover projetos-piloto com base nesta tecnologia que permite o armazenamento de energia.

**Ondas** – O potencial do aproveitamento da energia das ondas já é reconhecido e está previsto o aumento da capacidade de produção de eletricidade através de ondas.

Serão ainda promovidos os sistemas híbridos que permitem a flexibilização da utilização de energias provenientes das várias fontes renováveis maximizando a capacidade da rede e ainda a existência de Gás Natural na próxima década como *BackUp* na transição energética proposta.

Na utilização de energias renováveis para o setor de aquecimento e arrefecimento:

**Cogeração de Alta Eficiência** – Com recursos a fontes renováveis atingir economias significativas de energia, principalmente em indústrias consumidoras intensivas de energia.

**Bombas de Calor** – Principalmente no setor das residências e serviços complementando-se com outras tecnologias sendo principalmente eficiente para aquecimento e arrefecimento e aquecimento de águas sanitárias.

**Solar Térmico** – À semelhança da bomba de calor, o Solar Térmico pode ser utilizado em simultâneo com as bombas de calor, ou ser associado a outras tecnologias, tais como caldeiras a biomassa, melhorando a eficiência global do sistema. O Solar Térmico é muito eficiente no aquecimento de águas quentes e pode contribuir para aquecimento ambiente. Na indústria é capaz de suprir necessidades de média-baixa de temperatura das águas.

## **2.2. Eficiência Energética e Hídrica**

O *Water Energy Nexus* permite atingir a máxima eficiência energética e hídrica. Ao combater o aumento do consumo de água estaremos a combater o uso de energia e vice-versa. Para tal são necessários sistemas elétricos e sistemas hídricos completamente bem conhecidos e se possível com informação em tempo real. Deve-se caminhar para a automação total de sistemas urbanos de água, bem como a sua integração com a rede de energia, mas para isso é extremamente importante a medição e monitorização [11]. Com o perfeito conhecimento destas redes é então possível tomar medidas desde custos baixos às reestruturações planeadas das redes de custos elevados. A utilização de energias renováveis irá permitir melhorias no desempenho energético diminuindo os consumos de energia por outras fontes. Sendo que, as auditorias energéticas ou hídricas, poderão também ser úteis na identificação de melhorias, seja por tecnologias ou pela gestão. É possível reduzir em 15% até 2040, o consumo de energia no setor da água [12].

A redução de consumos, nomeadamente de energia pode ser obtido através de fontes renováveis em detrimento de consumo de energia da rede elétrica. Uma possibilidade para o aumento da eficiência energética das residências, e não só, é a combinação de soluções que permitam obter resultados melhores à utilização de tecnologias em separado. Em [13], foi aumentada a eficiência energética de uma residência através de painéis fotovoltaicos e bomba de calor. Os principais objetivos foram maximizar o autoconsumo do painel fotovoltaico residencial para o consumo da bomba de calor, minimizando o consumo de energia provinda da rede pública e determinar o tamanho

ótimo do reservatório de água que também poderá usar a energia dos painéis para se abastecer de água.

Ainda dentro do PNEC2030 [10], e no âmbito de um uso eficiente da água, foi criado o programa **AQUA +**. Criado para **Classificar, Valorizar e Melhorar** os edifícios para que estes reduzam o seu consumo de água até 30%. A classificação hídrica dos edifícios é semelhante àquela já existente para outros equipamentos. A escala utilizada vai de A+ a F, e tem como objetivo valorizar e premiar a eficiência da gestão da água em edifícios, considerando ainda os que incorporam novas soluções que permitam o reaproveitamento da água de outras formas.

Atualmente, não basta otimizar os recursos, há também que promover a sua reutilização. O tratamento de águas residuais é um processo em que o consumo de energia é bastante elevado [9]. A consciencialização para a eficiência hídrica e energética é cada vez maior. A crescente preocupação ambiental levou a que se deixasse de pensar apenas na redução de consumos para se ter como objetivo o reaproveitamento da água. A eficiência energética poderá passar também pelo uso de painéis solar térmicos para Águas Quentes Sanitárias (AQS) bem como o uso de outros equipamentos, com maior nível de eficiência. As perdas são também um fator determinante no desperdício de água diretamente ou desperdício de consumo de energia que foi imputado no processo dessa mesma água desperdiçada.

Estima-se que até 2050 o consumo mundial de energia e água aumente cerca de 50%, pois a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu como objetivo que em todo o mundo que se tenha acesso equitativo a estes recursos. Mas obviamente com este objetivo o custo com as infraestruturas de distribuição de água e de energia irá aumentar cerca de 3% e 6%, respetivamente. Estes sistemas de distribuição não só têm custos e consumos associados como também estão a contribuir para a instabilidade climática [8].

### **2.3. Sistemas de Água e Energia**

Os recursos hídricos e energético têm semelhanças claras no fluxo de utilização. Ambos os recursos têm origem na natureza. A energia elétrica é obtida de uma fonte primária que é transformada na eletricidade que consumimos. A água é obtida da natureza, por captação em aquíferos, rios ou barragens, em seguida é tratada até que fique pronta a ser consumida. No transporte, a energia tem três escalas a baixa, média e alta tensão. No processo da água existem locais para armazenamento, a rede de transporte e a rede de distribuição. Por fim, a maior semelhança com os sistemas de distribuição de energia

encontra-se no fim do fluxo. O consumo de água, seja ele industrial, comercial ou em habitação [8]. Além das semelhanças na produção, distribuição e consumo, os desafios também são comuns. Um serviço de qualidade e confiabilidade seja da energia ou da água, a gestão das suas redes e atender as diferentes necessidades do consumidor principalmente às cargas de pico [14].

As entidades gestoras de águas municipais não só têm de distribuir a água potável pela população, mas também tratar e gerir esses mesmos recursos [15]. Além do ponto de vista tecnológico da engenharia e obviamente económico, a gestão de recursos como a energia e a água já é também visto do ponto de vista político [7]. Ainda existe uma ampla falta de entendimento entre setores e entidades gestoras dos diferentes recursos e também a inexistência de um pensamento sistemático para a interdependência dos mesmos [15].

## **2.4. Comunidades Inteligentes**

Este conceito do WEN está imperativamente ligado à nova geração das Smart Cities e Smart Grids. Por meio da Internet of Things (IoT), que confere aos sistemas integrados a conectividade, flexibilidade e resiliência que estes sistemas precisam e ainda otimizam a eficiência, confiabilidade, segurança, economia e desempenho ambiental [16]. Estas redes inteligentes permitem ainda ao utilizador participar ativamente no processo otimizando-o e contribuindo com as suas impressões [17]. As inovações no campo das energias renováveis, dos contadores inteligentes e outros conceitos inovadores devem ser cada vez mais levados ao encontro dos sistemas de água [12]. Um sistema de água inteligente deve também ter a capacidade de monitorizar o caudal, a pressão, e a distribuição de água no interior da cidade. Estes dados podem ser por isso utilizados no desenvolvimento de modelos de previsão dos consumos que permitam uma melhor gestão dos recursos existentes.

As redes inteligentes dos próprios sistemas integrados de água e energia, vão permitir desenvolver comunidades inteligentes descentralizadas e autónomas. Grandes comunidades podem ser formadas a partir de pequenos sistemas interligando-os através da IoT, tornando a comunidade menos complexa e conferindo-lhe um maior grau de segurança e resiliência. Passa a ser possível isolar falhas e também conseguir suprir consumos em casos dessas mesmas falhas.

## **2.5. Autoconsumo e Comunidades de Energia Renovável**

O paradigma do consumo de energia está em mudança. Hoje é sabido, que a produção própria de energia a partir de Fontes de Energia Renovável (FER) e o autoconsumo é o caminho para a redução de consumos e respetiva redução de emissão de GEE. O abandono da dependência de sistema de produção de energia centralizados é o procura impulsionar a construção de comunidades sustentáveis. Estas comunidades contam com o surgimento das já reconhecidas Comunidades de Energia Renovável (CER) para enfrentar os desafios relacionados com o investimento, produção, gestão e partilha. Para que esta seja uma realidade rumo à independência energética, procuram reduzir substancialmente a utilização de combustíveis fósseis, foi necessário flexibilizar a formação destas comunidades permitindo responder a desafios a nível social, ambiental e económico na produção e autoconsumo de energia [18].

Em Portugal já foi transposta para o panorama nacional a Diretiva (UE) 2018/2001, normalizando e definido o quadro em que autoconsumidores individuais e coletivos, bem como CER, podem produzir, consumir, armazenar, partilhar e vender eletricidade sem que haja encargos desproporcionados. O Decreto-Lei 15/2022 [19], de 14 de Janeiro, atualiza alguns requisitos do Decreto-Lei 162/2019 [20]. Na sequência da meta a alcançar em 2030, que estabelece que o consumo final bruto de energia do país seja 47% proveniente de fontes renováveis. Visa ainda promover a produção descentralizada de eletricidade, atingido os 80% de energia proveniente de fontes renováveis até 2030, com 1GW instalados. Este decreto-lei promove e facilita o autoconsumo de energia e as comunidades de energia renovável eliminando custos avultados e dificuldades injustificadas, criando também condições para soluções e projetos inovadores. Este Decreto-lei facilita ainda a participação daqueles que querem investir e participar na transição energética, sem subsídios públicos, que visem cobrir os respetivos consumos. Assim, com a legislação em vigor, as Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC), quando a produção é feita a partir de fontes renováveis, ficam sujeitas às seguintes condições:

- UPAC com potência instalada até 700 W não está sujeita a controlo prévio, desde que não esteja prevista injeção na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP);
- UPAC com potência instalada superior 700 W até 30 kW está sujeita a uma mera comunicação prévia;
- UPAC com potência instalada superior 30 kW até 1 MW está sujeita a um registo prévio para a sua instalação e certificado de exploração;

- UPAC com potência instalada superior a 1MW está sujeita a atribuição de licença de produção e exploração.

A pronúncia do operador de rede apenas é obrigatória nos casos em que no pedido de registo da UPAC se prevê a injeção de potência na RESP. No caso para o qual a UPAC preveja a injeção na rede superior 1 MVA, a obtenção de licença depende da prévia atribuição de reserva de capacidade de injeção na RESP.

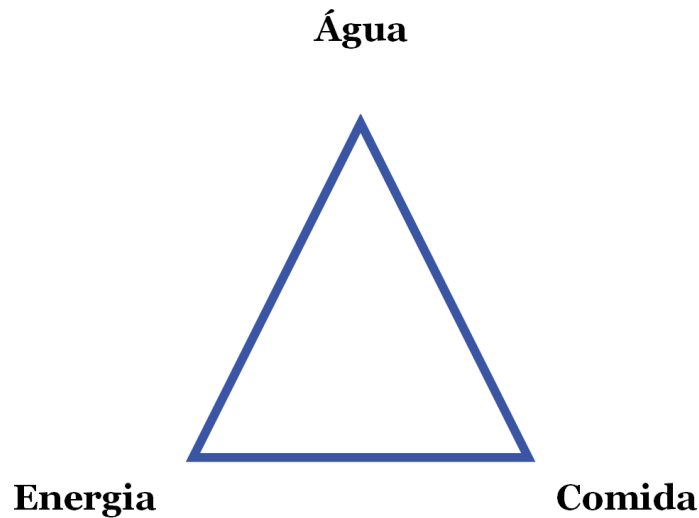
## **2.6. Normalização**

Ao fazer uma revisão dos estudos feitos dentro do conceito do *Water Energy Nexus* rapidamente encontramos uma grande variedade de estudos sobre arquitetura de referência [6], [17], [21]–[24] e também de modelação e co-otimização [25]–[29]. A arquitetura de referência concentra-se nos sistemas de engenharia, distribuição e gestão que irão ser interligados por meio do conceito. Os sistemas são vistos como caixas em que as entradas e as saídas não são dinâmicas, mas sim consideradas constantes fixas de energia ou água. No entanto a modelação concentra-se em modelos físicos aplicados e derivados analiticamente de cada subsistema. Estes modelos variam quanto à sua finalidade, como por exemplo: para o tratamento, dessalinização e distribuição de água num sistema de distribuição de energia [25]; numa operação de várias energias em que não está apenas presente a energia elétrica e a água, mas também gás [26]; co-otimização de redes de água e energia em *Smart Cities* [27], [28]; resiliência de sistemas sobre condições extremas [29].

## **2.7. Triângulo Energia-Comida-Água**

O alimento é também outro componente que está ligado ao *Water Energy Nexus*. Existem estudos que investigam o triângulo *Energy-Food-Water* (EFW), Figura 11, como respostas às alterações climáticas [30]–[32]. Este conceito surge como resposta à escassez de água e energia, causadas muitas vezes por essas mesmas alterações climáticas, que tem impacto direto nos alimentos, recurso esse que tal como a energia e a água também tem um impacto no bem-estar das pessoas. Em [30] são analisados os desafios na Indonésia, como a energia, alimentos, uso do solo, clima, a água e ainda outros desafios da implementação deste conceito como disponibilidade de dados, identificação de lacunas da oferta e consumo, métodos de análise e as políticas. Um pouco à semelhança do que já foi visto anteriormente, na revisão de arquiteturas de referência, em [31] são abordados aspetos importantes na construção duma estrutura neste conceito em que se insere a comida e também as principais interligações entre os três recursos. Em [32] é demonstrada uma temática já abordado, a *Internet of Things*, neste conceito EFW. São enumeradas aplicações concretas da IoT em energia, água e

alimento bem como uma arquitetura das várias camadas envolvidas. Além do referido, o EFW tem um papel fundamental no que respeita à segurança alimentar.



*Figura 11 – Triângulo Energia-Comida-Água*

## **2.8. Energia nos Processos da Água**

Não só é possível produzir energia a partir da água, seja pela sua força potencial gravítica ou energia térmica, mas também os diversos processos da água necessitam de energia. Esta quantidade de energia pode variar consoante a localização e como está estruturada a rede de abastecimento e saneamento com fatores como a topografia, comprimento das redes, perdas ou tratamentos necessários. Nestas utilizações de energia inserem-se as captações de águas subterrâneas ou superficiais, tratamento e dessalinização, transporte e distribuição, coleta e tratamento de águas residuais. Além destas principais etapas do percurso da água existem processos secundários na utilização de água que se pode utilizar novamente energia como para aquecimento de águas, aquecimento ou arrefecimento de ambientes [33].

Cerca de 60% da energia utilizada no setor da água é sob a forma de eletricidade e corresponde a sensivelmente 4% do consumo mundial deste tipo de energia. A captação representa cerca de 40%, o tratamento de águas residuais 25%, 20% na distribuição aos consumidores e globalmente apenas 5% à dessalinização. Como é possível observar na Figura 12, estes valores variam consoante a região. Em países desenvolvidos, a parcela de tratamento de águas residuais é maior quando comparado com países em desenvolvimento. Outra parcela que varia bastante entre regiões é a de energia para dessalinização, em que países do Medio Oriente com menor acesso a água doce tem de recorrer a este processo. Por último, uma grande variação na Índia relativamente à

captação, ascendendo aos 60% da eletricidade utilizada, deve-se ao grande uso de bombagem de águas subterrâneas [33].

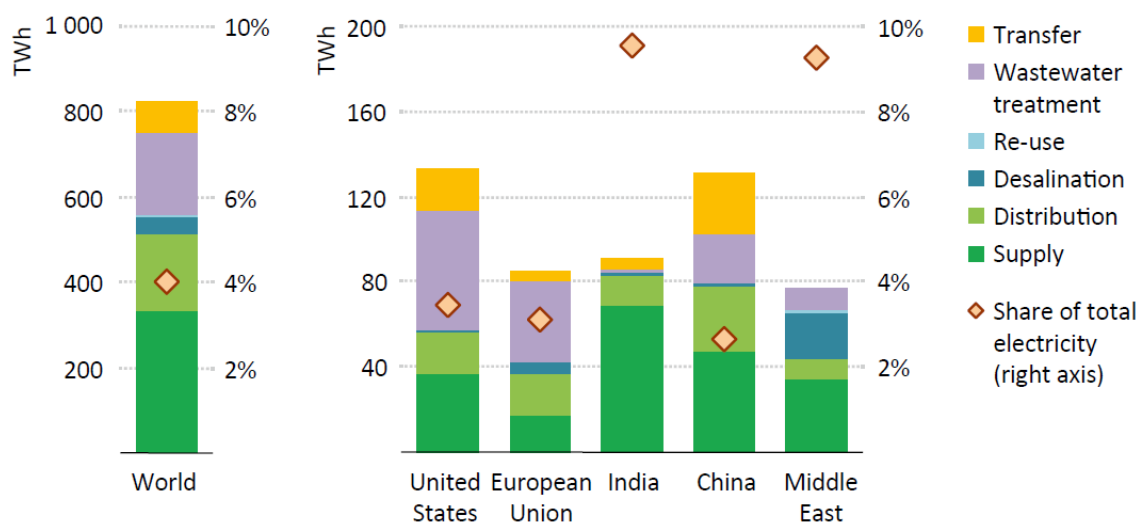


Figura 12 - Consumo de eletricidade no setor da água por processos e região, 2014 [33]

Associado às redes de distribuição estão as fugas de água, e associado a estas, a energia desperdiçada nos processos da água perdida. Com a necessidade de contabilizar as perdas, a *International Water Association (IWA)* através da *Water Loss Task Force* e outras entidades gestoras de águas, desenvolveram o Balanço Hídrico, Figura 13. Este é o ponto de partida para todas as avaliações desta temática, avaliando os volumes por diferentes temáticas conseguindo distinguir as perdas por temáticas que necessitam de diferentes tipos de abordagem para a sua redução [34].

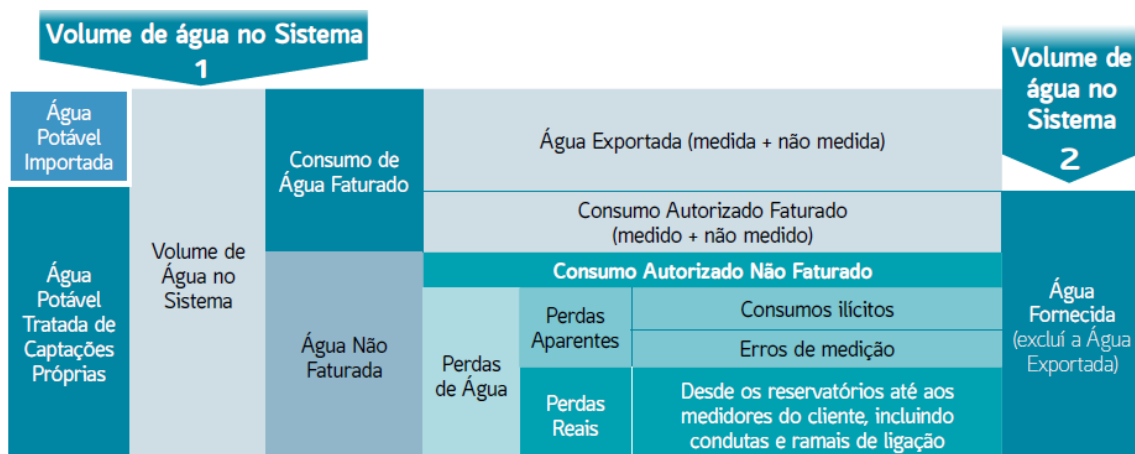


Figura 13 - Balanço Hídrico, de acordo com a definição da *International Water Association* [34]

O balanço hídrico faz a distinção dos vários tipos de perdas, dividindo-as em Perdas Aparentes e Perdas Reais. Inserido nas perdas aparentes estão os consumos ilícitos e erros de medição, por parte dos equipamentos utilizados ou devido a estimativas. As

perdas reais são as perdas que efetivamente ocorrem nas condutas. Estas ainda se dividem geralmente entre perdas reais ao nível das condutas de adução e distribuição, reservatórios e ramais. Mesmo com o balanço hídrico é ainda necessário utilizar estes valores de volume de água para o cálculo dos indicadores que correspondam às necessidades.

O balanço hídrico é uma avaliação necessária como ponto de partida para obter a definição de uma estratégia de controlo ativo de fugas de água. A metodologia de Helena Alegre disponibilizada em 2005, [35], testada em entidades portuguesas, adota vários conceitos que permanecem atuais, mas que por vezes são de difícil implementação. A Empresa Pública das Águas Livres (EPAL), concessionária de água na cidade de Lisboa, devido à sua grande estrutura consegue a implementação de metodologias de controlo ativo, mas outras mais pequenas devido à falta de meios implementam apenas abordagens reativas às fugas de água. Além da falta de meios, a complexidade de implementação de alguns conceitos, como aqueles que são apresentados de seguida, tornam-se um obstáculo ao início de uma nova abordagem.

Associado ao controlo de uma rede de distribuição estão as Zonas de Monitorização e Controlo (ZMC), que permitem dividir as redes para uma melhor e mais rigorosa avaliação. Estas zonas são de dimensão apropriada e permite avaliar os caudais e consumos a partir de caudalímetros e contadores instalados nas entradas e saídas desta mesma zona. Existem vários métodos de avaliação de caudais que permitem detetar anomalias na rede para que estas se possam reparar, no entanto, algumas fugas de água podem não ser perceptíveis e, por isso, o controlo ativo é tão importante [34].

Um conceito reconhecido no controlo ativo de fugas de água é o Nível Económico de Perdas (NEP). Este quando é alcançado significa que os custos da água perdida no sistema associados aos custos das atividades de controlo ativo atingem um mínimo, Figura 14. Outra maneira de entender este conceito é dizer-se que o investimento deixa de ser viável, pois os valores recuperáveis na reparação das fugas não atingem esse valor. Existem, no entanto, algumas variantes deste conceito de modo a abranger diversos objetivos e complexidades para a diferentes maturidades das diferentes entidades. O Nível Económico de Perdas Reais no Curto-Prazo (NEPr-CP), que apenas contabiliza os custos marginais de deteção e reparação em relação aos benéficos marginais da água que deixa de se perder ou o Nível Económico de Perdas Reais no Longo-Prazo (NEPr-LP) que vai mais longe e avalia os impactos década tipo de investimento.

Cada ZMC tem também um NEP próprio, que permite priorizar estas por ordem de atuação e em que setor da mesma.

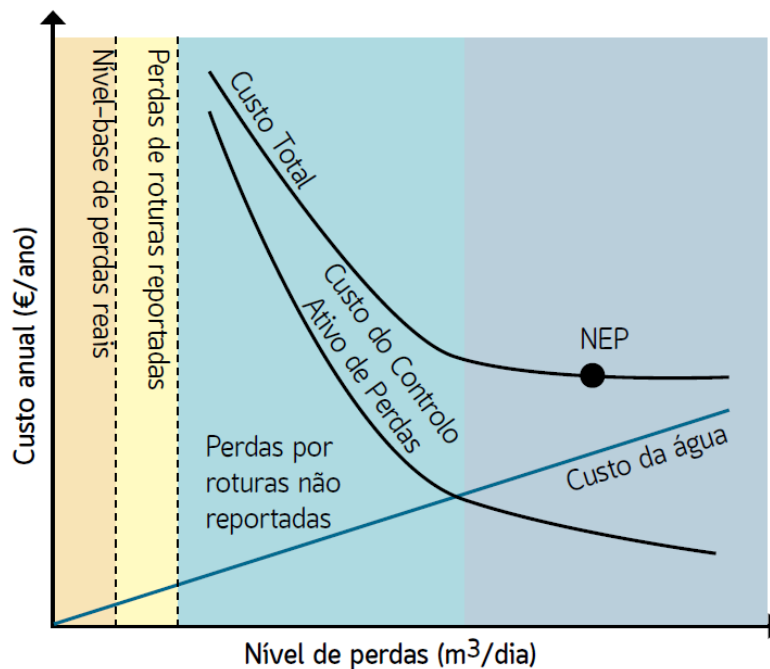


Figura 14 - Ilustração do Nível Económico de Perda [34]

## 2.9. Benefícios e Oportunidades

Com sistemas integrados no âmbito do WEN surge oportunidades claras de otimização dos recursos como [14], [16]:

- nivelar cargas, com sistemas de água como consumo responsivo ao sistema de energia controlando consumos, beneficiando consumidores e operadores;
- tratamentos da água fora do pico de consumo, diminuindo os custos associados;
- substituir combustíveis fósseis por sistemas de energias renováveis para os processos da água nomeadamente a recuperação de energia elétrica nas redes de água;
- responder à intermitência das energias renováveis;
- melhor compromisso de segurança com as cargas das redes;
- programação ótima de bombas em redes de água;
- planeamento otimizado das infraestruturas integradas de energia e água;
- otimizar a relação de geradores com a redes urbanas;
- colocação de pressão ideal nas redes de água;
- descentralizar operações possibilitando o aumento da resiliência e segurança dos sistemas;

- aproveitar a excedente energia renovável, nomeadamente altas tensões por vezes geradas para por exemplo em pré-aquecedores de águas como cargas despacháveis.



## 3. Projetos de Produção de Energia

Este capítulo descreve projetos em que a água e a energia trabalham em conjunto e ainda é realizada uma visão de como estes casos de estudo poderiam ser mais eficientes através do Nexus Água-Energia. Antes disso é feito um levantamento do potencial das energias renováveis da região.

### 3.1. Potencial das Energias Renováveis na Região Centro

Neste subcapítulo é caracterizada a região, pela localização, geografia, relevo e perfil socioeconómico. De seguida pelas características ambientais como o clima, temperatura, precipitação, vento e exposição solar.

#### 3.1.1. Localização e Geografia

A Região Centro, na Figura 15, é delimitada a norte pela Região Norte, a Sul pelo Alentejo, a Oeste pelo Oceano Atlântico e a por Espanha. Esta região pode ainda ser subdividida em Beira Litoral e Beira Interior. A Região Centro ocupa 25,7% do território nacional e engloba 21.5% da população total [36]. É nesta região que reside a mais importante fronteira terrestre com o país vizinho.

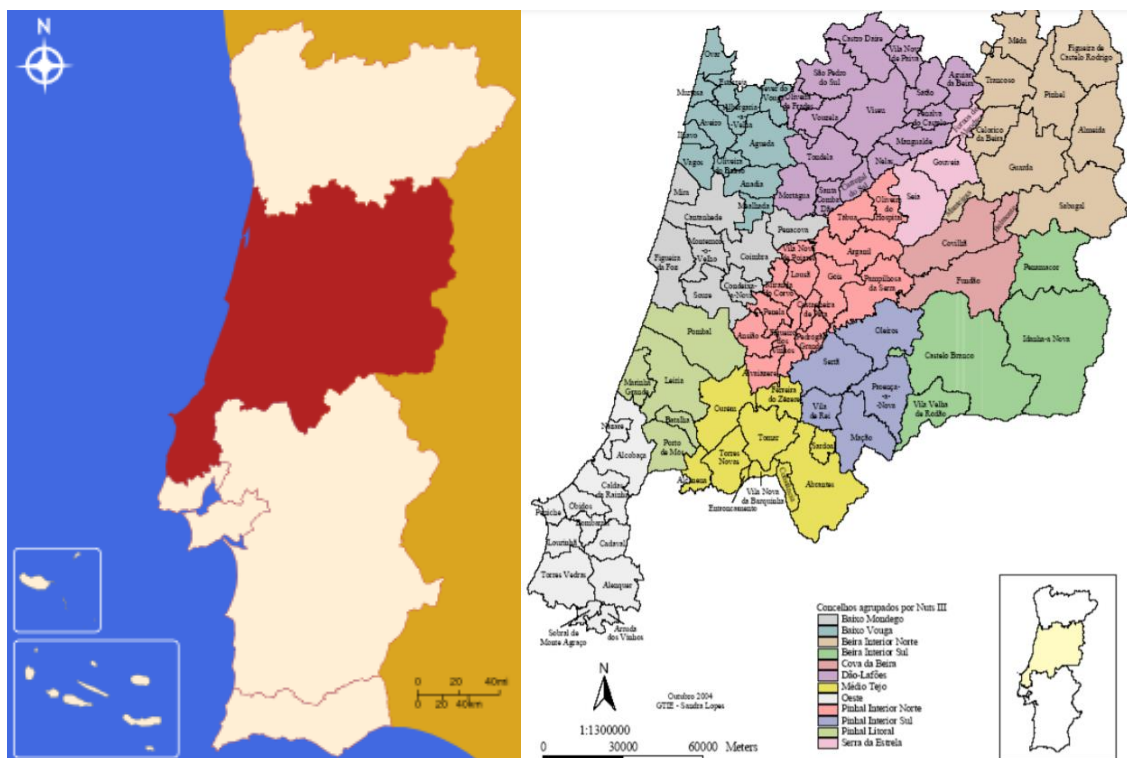


Figura 15 - a) Região Centro, Portugal [37] b) Concelhos Região Centro e suas zonas [38]

A Beira Litoral ocupa os distritos Aveiro, Coimbra e Leiria. Faz fronteira a Norte com Douro Litoral, a Este com a Beira Interior, a Sul com a Estremadura e a Oeste pelo Oceano Atlântico. Esta sub-região é a que mais contribui para o número de população da região Centro.

A Beira Interior, na Figura 16, é uma das regiões do centro de Portugal com limites naturais bem vincados. A Norte delimitada por Trás-os-Montes e Alto Douro, com as serras dos vales do Douro e Côa. A Este, o limite de separação são os rios Mondego e Zêzere bem como as serras do Açor, Gardunha e Lousã. A Oeste, a região é delimitada pela fronteira com Espanha. E, por fim, a Sul o rio Tejo que faz a ponte com o Alentejo.

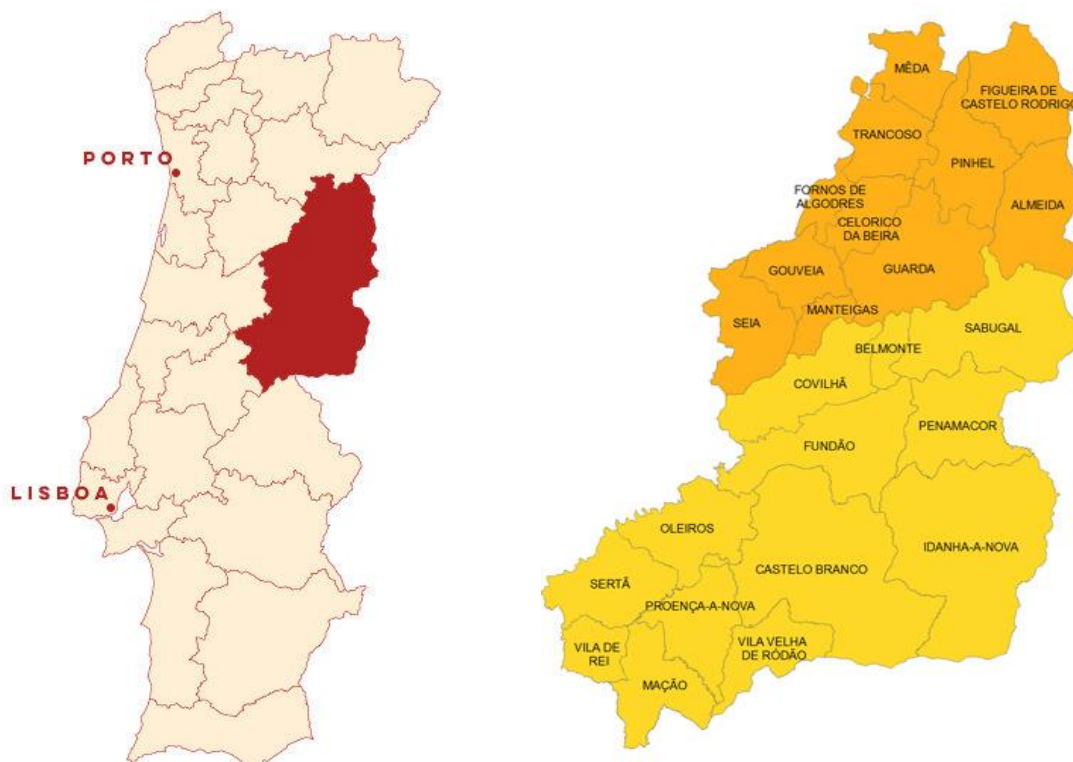


Figura 16 - a) Portugal Continental com região da Beira Interior a vermelho [39] b) Concelhos da Beira Interior, a cor-de-laranja distrito da Guarda e a amarelo distrito de Castelo Branco [40]

Esta região está inserida no distrito da Guarda e no distrito de Castelo Branco, por vezes também dividida em Beira Alta e Beira Baixa respetivamente. Esta região não é oficial, bem como as sub-regiões. Não existe governo regional ou outras entidades de controlo governativo desta região. Conta com sensivelmente 385 mil habitantes e uma área de 12100 km<sup>2</sup>.

A Serra da Estrela, situada na Região Centro, é a cadeia montanhosa com maior altitude em Portugal Continental, 1993 m. Esta faz parte de uma grande cordilheira no centro da Península Ibérica denominada de Cordilheira Sistema Central, Figura 17. Grande parte da sua paisagem encontra-se protegida pelo Parque Natural da Serra da Estrela, a maior

área protegida de Portugal. Na Serra da Estrela existem inúmeras linhas de água, dentro da qual nascem quatro rios, Rio Mondego, Rio Zêzere, Rio Alva e Rio Alvoco. Estes por sua vez alimentam o rio Mondego e o rio Tejo beneficiando assim as cidades como Coimbra e Lisboa das águas da Serra da Estrela. Por toda esta área existem inúmeras instalações para o aproveitamento energético, nomeadamente de água.



Figura 17 - Cordilheira Sistema Central, Península Ibérica [41]

### 3.1.2. Socioeconómica

No panorama nacional a região centro corresponde sensivelmente de 1/5 a 1/3 da economia, num PIB no 2º Trimestre de 2021 de 52 108,1 M€. Esta área da região é a segunda maior apenas ultrapassada pelo Alentejo. A Região Centro tem uma área de 28 199 km<sup>2</sup> e 2 227 912 habitantes [36].

Tabela 7 - Características Socioeconómicas da Região Centro

	<b>Portugal</b>	<b>Região Centro</b>	<b>%</b>
<i>Municípios</i>	308	100	32.5%
<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	92 212	28 199	30.6%
<i>População</i>	10 347 892	2 227 912	21.5%

Na Tabela 8, os municípios mais populosos da Região Centro:

Tabela 8 - Municípios mais populosos da Região Centro [36]

<b>Cidade</b>	<b>População</b>
<i>Coimbra</i>	140 796 hab
<i>Leiria</i>	128 640 hab
<i>Viseu</i>	99 693 hab
<i>Torres Vedras</i>	83 130 hab
<i>Aveiro</i>	80 880 hab
<i>Figueira da Foz</i>	58 982 hab

A população na Beira Interior tem vindo a estagnar ou mesmo diminuir, com a população a concentrar-se principalmente nas cidades de Castelo Branco, Covilhã e Guarda, Fundão e Seia, Tabela 9. Com algumas vilas próximas destas cidades a tomarem alguma relevância na demografia da região, sendo que a maior parte das aldeias têm menos de 200 habitantes.

Tabela 9 - Municípios mais populosos da Beira Interior [36]

<b>Concelho</b>	<b>População</b>	<b>Área</b>
<i>Castelo Branco</i>	52 272 hab	1439.94 km <sup>2</sup>
<i>Covilhã</i>	46 453 hab	556.43 km <sup>2</sup>
<i>Guarda</i>	40 155 hab	717.88 km <sup>2</sup>
<i>Fundão</i>	26 521 hab	701.65 km <sup>2</sup>
<i>Seia</i>	21 759 hab	435.92 km <sup>2</sup>

O interior de Portugal está em declínio demográfico com a população a deslocar-se para o litoral onde estão melhores empregos, maiores cidades e os e infraestruturas de aeroportuárias. Sendo que nos últimos anos o turismo tem vindo a crescer contribuindo muito para a economia da região, sendo este também um mecanismo de desenvolvimento da mesma. Vários fatores aliados à zona em questão, permitem também um grande aproveitamento de energias renováveis com grandes investimentos espalhados por toda a sua área.

A região no passado viveu da indústria dos lanifícios, mas com o desaparecimento foi dando lugar aos serviços. Hoje em dia, a Universidade da Beira Interior é um grande motor de desenvolvimento na região não a deixando cair no esquecimento.

### **3.1.3. Relevo**

Portugal caracteriza-se no seu relevo por duas zonas distintas, a Norte e Centro com regiões montanhosas e planaltos separados por vales profundos e a Sul por planícies suaves de baixa altitude. A região centro é a região mais irregular de Portugal Continental. A região do litoral tem as cotas situadas perto dos 0m, enquanto no interior é atingida uma altitude de 1993m na Serra da Estrela. Na Figura 18 são apresentados os mapas hipsométricos de Portugal Continental e da Região Centro.

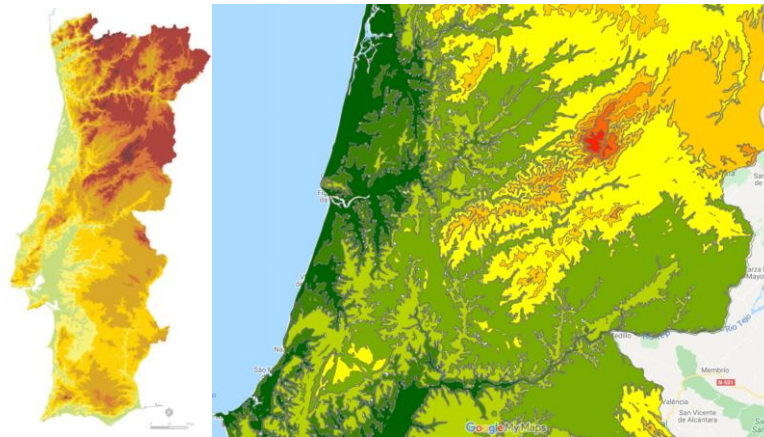


Figura 18 - a) Mapa hipsométrico Portugal Continental [42] b) Mapa Hipsométrico Região Centro [43]

A região da Beira Interior possui um relevo acentuado, com um misto de formações montanhosas de grande imponência, como a Serra da Estrela (1993m) ou da Gardunha (1227m), mas também por uma imensa região de planaltos. Com uma altitude média de 700m, a região de morfologia maioritariamente granítica a Norte e xistosa a Sul, tem nela contida grandes vales, resultantes do degelo dos glaciares, e por onde correm importantes rios como o Zêzere ou o Mondego. Este relevo não deve ser desprezado no aproveitamento da energia potencial da água bem como o potencial de energia eólica. Na Figura 19 é apresentado o mapa hipsométrico desta região.

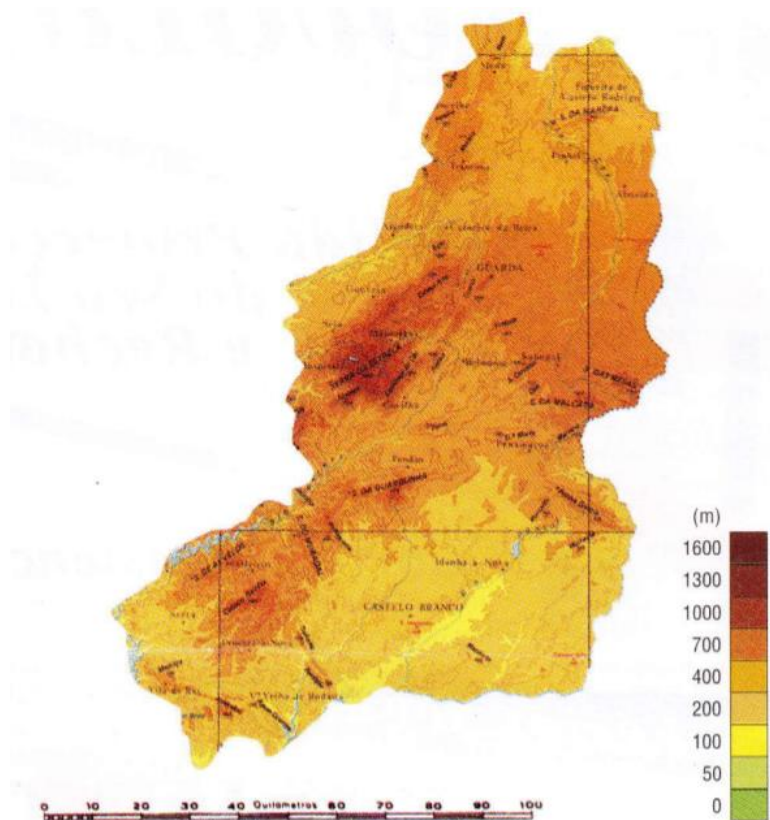


Figura 19 - Mapa Hipsométrico da Beira Interior [44]

### **3.1.4. Clima**

Curiosamente é a região centro que divide do clima português em duas zonas distintas, entre Norte e Centro Litoral com Centro Interior e Sul. Sendo que o Centro Litoral sente estações mais amenas enquanto o Centro Interior tem os extremos na estação quente e estação fria.

Na Beira Interior, o relevo bastante acentuado, a extensa área geográfica, a distância à costa atlântica e a elevada altitude, são características que definem o clima como de modo geral temperado. Apesar das alterações climáticas sentidas nas últimas décadas com vários fenómenos anómalos, o clima na Beira Interior pode também dividir-se em duas situações distintas relativas à Beira Alta e à Beira Baixa. Na Beira Alta situam as maiores formações montanhosas, ao mesmo tempo que se sentem as temperaturas mais baixas, mesmo negativas em mais de 90 dias por ano, ocorrem também valores de precipitação mais elevados, até sob a forma de neve. Enquanto nos planaltos são sentidas grandes amplitudes térmicas ao longo de todo o ano, sendo o verão o período do ano em que as temperaturas médias rondam os 30°C e os invernos frios, com muitos dias e temperaturas negativas.

### **3.1.5. Temperatura**

Como se pode observar na Figura 20, referentes ao ano de 2020, a temperatura média do ar no inverno, sentida em janeiro, referente ao Centro Litoral situa-se nos 8-10°C e no verão, sentida em julho, nos 20-24°C.

Na Beira Interior, a temperatura média do ar referente ao inverno, janeiro de 2020, situa-se nos 8°C na Beira Baixa e nos 2-6°C na Beira Alta. Já no verão deste ano a temperatura média do ar na região mais a Sul situou-se nos 26-28°C e mais a Norte, nas formações montanhosas de maior altitude, situou-se nos 22-24°C. Exceção para os pontos mais altos da Serra da Estrela.

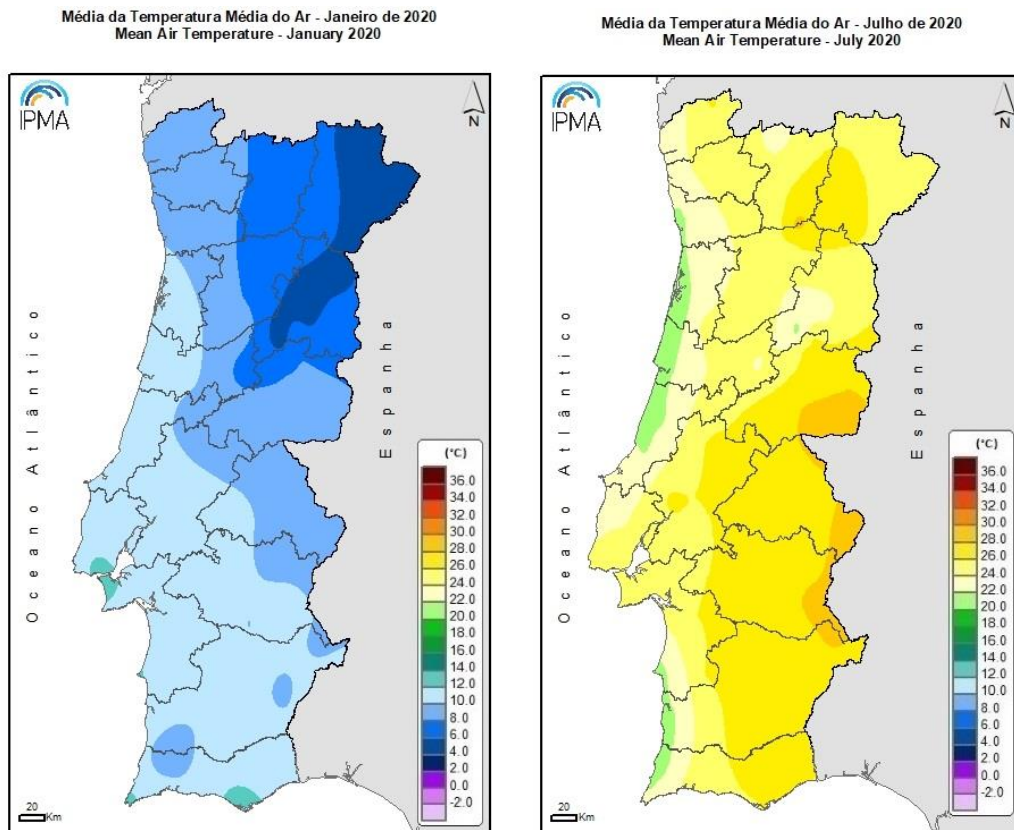


Figura 20 - a) Média da temperatura média do ar - Janeiro 2020 b) média da temperatura média do ar - Julho 2020 [45]

Relativamente aos extremos sentidos nesta região podemos observar na Figura 21 ,que no inverno, a média da temperatura mínima no Centro Litoral ronda os 4-6°C. Os extremos na Beira Interior, relativos à Beira Baixa situa-se nos 4°C, enquanto na Beira Alta se situa nos 2°C, chegando mesmo aos 0°C na Serra da Estrela.

Já em relação à média das temperaturas máximas registadas podemos observar os máximos nacionais, o Centro Litoral a atingir os 26-30°C, com a região Sul da Beira Interior a atingir os 36°C, enquanto mais a Norte se situa nos 32-34°C, baixando para 26°C no ponto mais alto de Portugal Continental.

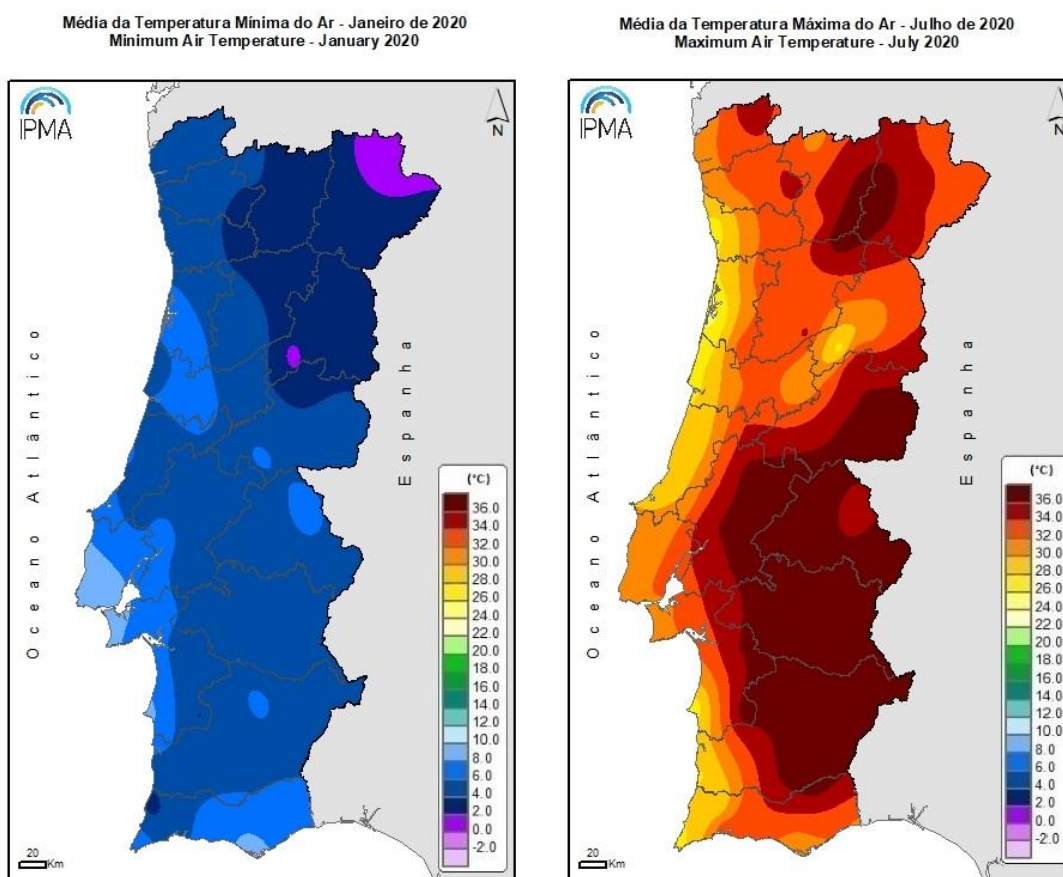


Figura 21 - a) Média da temperatura mínima do ar - Janeiro 2020 b) Média da temperatura máxima do ar - Julho 2020 [45]

Em suma, pela observação das imagens podemos constatar que na região Centro Litoral as estações são mais amenas enquanto na Beira Interior são sentidos Verões muito quentes e Invernos muito frios, com ligeiras diferenças entre a região mais a sul e a região mais a norte, mais montanhosa.

### 3.1.6. Precipitação

Os Invernos são frios na região e existe muita precipitação, principalmente nas zonas mais montanhosas, muitas vezes mesmo sob a forma de neve e granizo.

A par de nos últimos anos os valores da precipitação em Portugal estarem abaixo da Norma Climatológica de 1971-2000, estes últimos dos anos não foram exceção.

Na região, em 2018, foram atingidos valores de 600-1400 mm na maior parte da região chegando mesmo aos 2200-2400 mm nos pontos mais altos. Em 2019 estes valores diminuíram, atingindo valores de 200-1000 mm em que os pontos mais altos se ficaram pelos 1800-2200 mm. Estes valores são possíveis de ser visualizados na Figura 22.

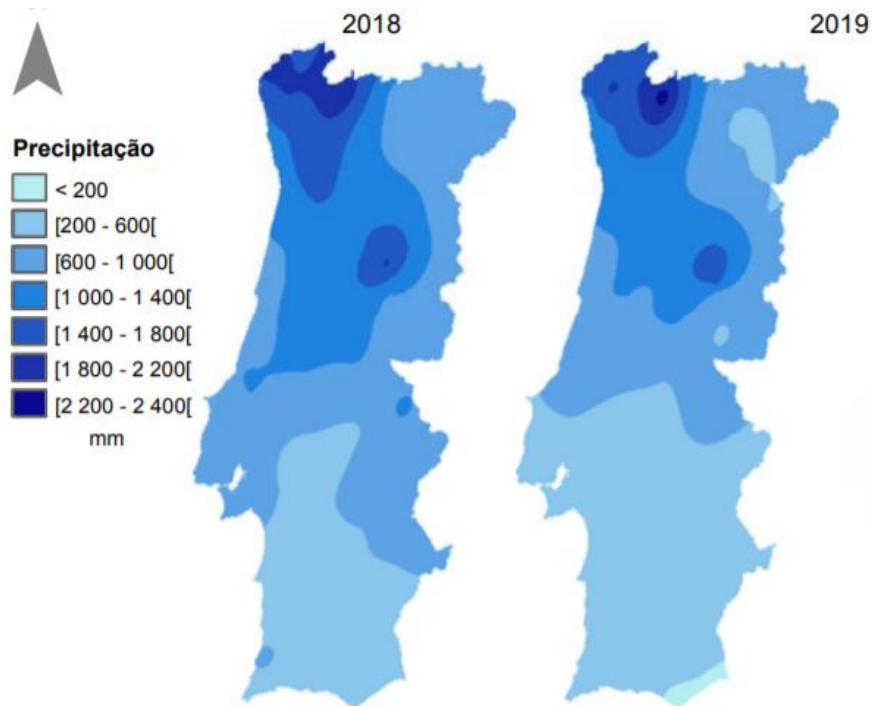


Figura 22 - Precipitação total em 2018 e 2019 [46]

### 3.1.7. Vento

Os fortes ventos sentidos na Região Centro, mais concretamente na Beira Interior permitem a produção de energia elétrica através de energia eólica. Observando-se um crescente número de parques eólicos instalados na região.

Na Figura 23 conseguimos observar as velocidades do vento, bem como a quantidade de parques eólicos na região, sendo atingidas velocidades de cerca de 6-7 m/s.

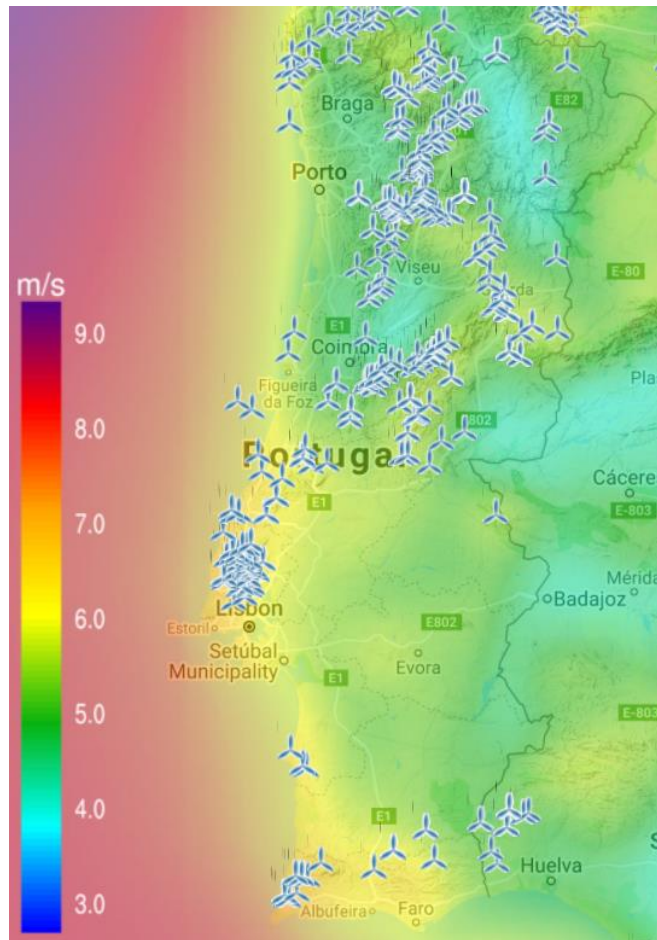


Figura 23 - Velocidade média do vento a 80 metros do solo (m/s) em Portugal [47]

### 3.1.8. Exposição Solar

“A radiação solar, pela sua influência na dinâmica da atmosfera terrestre, constitui uma dimensão analítica relevante no impacto sobre o ambiente. Este elemento do clima compreende a radiação solar direta e difusa, incidente à superfície, na banda de comprimento de onda de 0.3  $\mu\text{m}$  a 2.8  $\mu\text{m}$ , nos sensores da rede de estações do IPMA”, [46].

Portugal é um país com grande exposição solar embora a diferença entre o Centro Litoral e Beira Interior seja significativa. A região da Beira Interior nele inserido não sendo a zona com maior exposição é uma das que tem mais potencialidade.

No Centro litoral a radiação em 2018 não ultrapassou os 5500 MJ/m<sup>2</sup> enquanto no seguinte ano de 2019 chegou aos 6000-6500 nalgumas zonas.

A Radiação Solar na Beira Interior em 2018 situou-se nos 6000-6500 MJ/m<sup>2</sup> em parte da Beira Baixa e nos 5500-6000 na restante área. Já no ano de 2019, como podemos ver no segundo mapa, a radiação no geral aumentou. A Radiação Solar na Beira Interior

nesse ano situou-se nos 6000-6500 MJ/m<sup>2</sup> em quase toda a região, com exceção dos pontos mais altos da Serra da Estrela. Valores este, expostos na Figura 24.

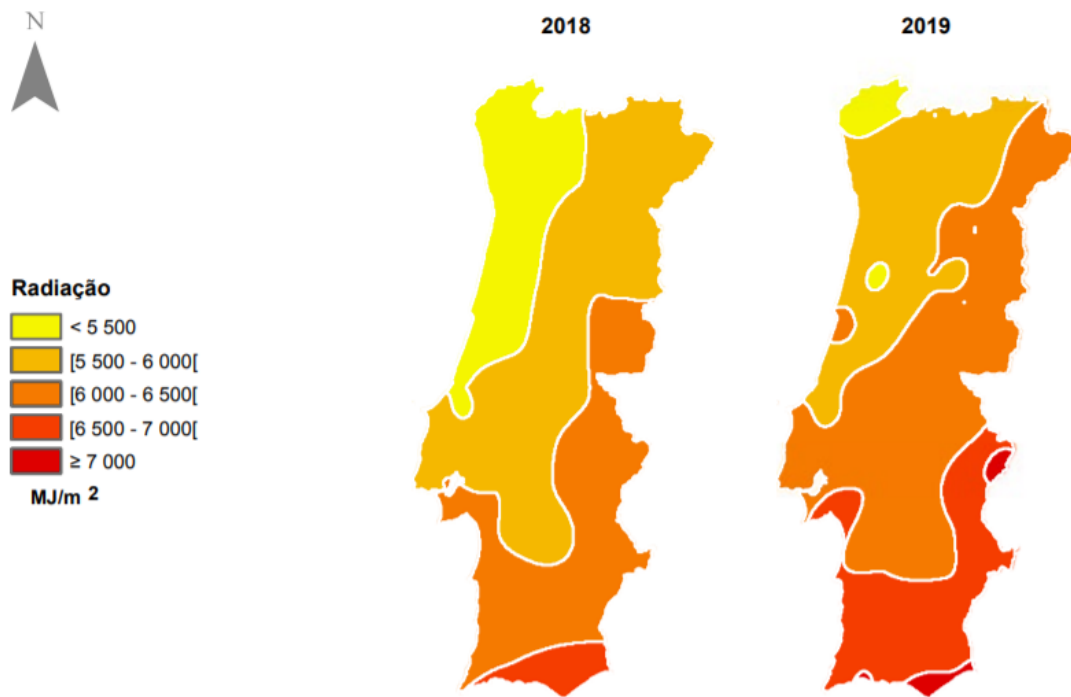


Figura 24 - Radiação solar em 2018 e 2019 em Portugal [46]

Em suma, a região tem um grande potencial de energias renováveis para não só suprir as suas necessidades, mas também as necessidades de outras zonas do país.

### 3.1.9. Aproveitamentos de Água e Energia

A região, fruto das suas formações montanhosas, dos seus vales profundos, enormes planícies e planaltos, características a que se alia a sua posição no globo terrestre, é rica em recursos hídricos, recursos energéticos como o vento ou o sol, bem como um subsolo rico, mas ainda pouco explorado.

As bacias hidrográficas do Douro, do Tejo e do Mondego, bem como alguns dos seus afluentes, permitem a produção de eletricidade nas centrais hidroelétricas e barragens. Na Região Centro existem cerca de 30 barragens com fins diversos: produção de energia, irrigação agrícola, turismo e lazer. Estão em estudo a construção de mais barragens na região, para permitir reter a água para a estação mais seca do verão. Nesta região é frequente os caudais dos rios provocarem cheias no inverno e secarem por completo no verão também devido às diferenças de precipitação ao longo do ano.

De salientar que sensivelmente metade das centrais hidroelétricas na região Centro encontram-se nas imediações da Serra da Estrela, Figura 25.



Figura 25 - Mapa das centrais hidroelétricas da Região Centro

### 3.2. Mini-hídrica Manteigas

O pequeno aproveitamento hidroelétrico, mini-hídrica, pertencia à SOTAV – Sociedade Têxtil dos Amieiros Verdes, servindo para autoconsumo nas instalações fabris do sector têxtil e foi adquirido e requalificado pelo Município de Manteigas.

As instalações existentes eram um aqueduto com 360 m de comprimento com tomado no rio Zêzere à cota 718,39 e restituição na conduta adutora à cota de 715,22, Figura 26. Com uma queda útil de sensivelmente de 17 m, Figura 27.



Figura 26 - a) Aqueduto com 360m b) Conduta adutora

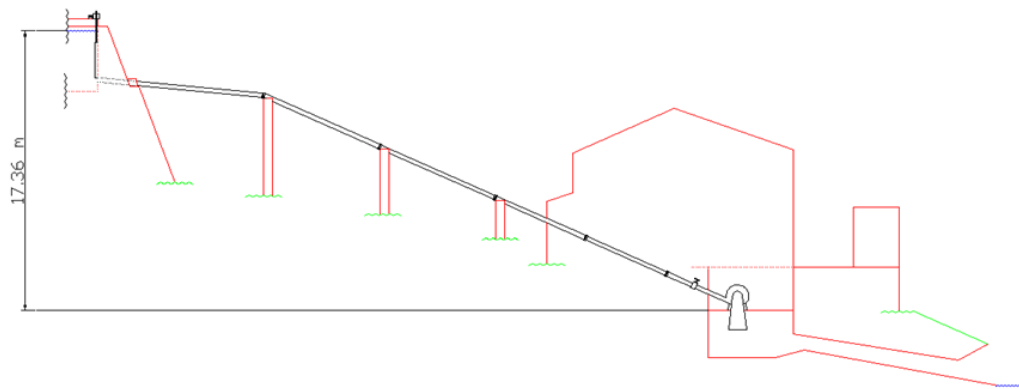


Figura 27 - Esquema representativo da queda útil

Faziam parte do sistema anteriormente instalado uma turbina do tipo Banki com 40cv de potência e um alternador de marca Siemens com potência de 32 Kva, Figura 28.



Figura 28 - Turbina do tipo Banki com 40cv de potência e alternador com potencia de 32kVA

### 3.2.1. Projeto

Para a avaliação do projeto foram avaliadas duas possíveis situações distintas, instalar uma potência de:

- 100 kVA com uma conduta de diâmetro mínimo de 700 mm;
- 180 kVA com uma conduta de diâmetro mínimo de 1200 mm;

Na primeira situação de 100 kVA traduzir-se-ia em termos práticos em 95 kW, e na segunda situação de 180 kVA, traduzir-se-ia em 171,5 kW, necessitando de um caudal de 720 L/s e 1300 L/s respetivamente.

Destas duas premissas iniciais começou-se a estudar três cenários diferentes:

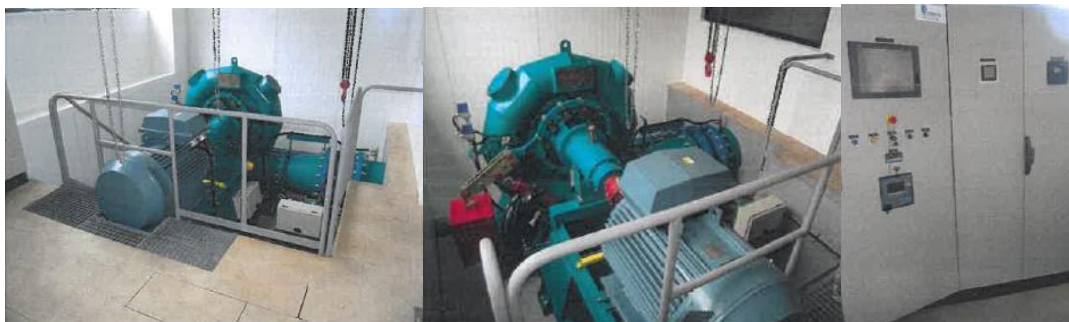
1. Instalar um grupo de 100 kVA não limitando o caudal;
2. Instalar um grupo de 180 kVA limitando o caudal para não ultrapassar os 100 kVA de licenciamento;
3. Instalar um grupo de 180 kVA não limitando o caudal.

### **3.2.2. Execução do Projeto**

Foi aprovado o requerimento à Direção Geral de Energia, à data de 2008, em que foi permitido a instalação de um aproveitamento Mini-Hídrico constituído por um grupo Turbina-Alternador de 107,7 kVA, Figura 29. Foi permitido interligar este grupo à rede nacional e entregar em ano médio 0,415 GWh de um funcionamento de 4000 horas.

A turbina instalada é do tipo Francis, uma queda útil de 17 m, um caudal de projeto de 720 L/s, prevista uma média de funcionamento de 212 dias/ano e uma potência nominal instalada de 100 kW.

Para que a produção de energia elétrica seja rentável é indispensável a automatização a 100%. Para isto foram confiadas as funções do grupo a um autómato programável que permitirá gerir a produção bem como a comunicação da exploração com o exterior.



*Figura 29 - Grupo Turbina-Alternador de 107,7kVA, com turbina do tipo Francis.*

### **3.3. Aproveitamento geotérmico nas Termas de Fonte Santa no município de Almeida**

Portugal Continental situa-se no domínio das baixas, entre os 20°C e os 29°C, e muito baixas entalpias, entre as 30°C e 73°C. Dentro destes domínios existe um grande potencial para o aproveitamento de recursos geotérmicos, nomeadamente para o uso de geotermia superficial. No passado, o uso destes recursos era apenas para balneoterapia, mas, cada vez mais, o interesse por estes recursos é maior. Quer através de utilização direta a partir de aquíferos profundos, a partir dos Sistemas Geotérmicos Estimulados, ou através do uso de bombas de calor geotérmicas que tem um vasto potencial em todo o país, onde o gradiente geotérmico seja normal. Isto irá permitir cumprir metas de eficiência energética quer a partir de aquecimento ou arrefecimento ambiente ou de produção de Águas Quentes Sanitárias.

Em Portugal Continental com o elevado potencial para aproveitamentos de baixa e muito baixa entalpia surgem vários casos de aproveitamento superficial, quer instalados verticalmente ou horizontalmente nas imediações do edifício. Estes aproveitamentos estão inevitavelmente associados à tecnologia de bombas de calor.

No âmbito do projeto geoATLANTIC, com o intuito de promover energias renováveis, como a geotermia para aquecimento e arrefecimento de ambiente em edifícios, surgiu o Aproveitamento Geotérmico nas Termas de Fonte Santa no Município de Almeida.

O complexo termal já utilizava o recurso geotérmico, de baixa entalpia, para desenvolver tratamentos termais para doenças reumáticas ou doenças respiratórias, no entanto, o objetivo deste projeto foi substituir a necessidade de combustíveis fósseis por bombas de calor geotérmicas. Na otimização da eficiência energética foram tidas em conta as exigências energéticas do edifício tentando ao máximo aproveitar o potencial do recurso geotérmico. A redução de consumos foi o ponto de partida para a solução delineada para o complexo, ainda associado a um projeto de painéis fotovoltaicos, que permitiria a redução de emissões de GEE.

Para projetar a melhor solução para o complexo termal foi feita uma simulação dinâmica para que se entende-se melhor o comportamento dos consumos energéticos, sabendo que, o edifício do estudo perante o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios e Serviços insere-se como “Piscina coberta aquecida” e como “Grande edifício de serviços” devido à sua área no Sistema de Certificação Energética. O complexo termal fornece ginásios, banho turco, sauna e obviamente os tratamentos por balneoterapia e os respetivos gabinetes para pessoal médico.

Da análise dinâmica ao edifício observou-se uma grande variação do consumo de energia elétrica e gás natural, em simultâneo, para garantir as necessidades energéticas do complexo termal. Relativamente a estes consumos é de notar que o aquecimento é em larga escala o maior consumidor de energia, representando 69%, face aos 31% que representando a fatia do arrefecimento. O pico de consumo acontece nos meses de verão, em julho e agosto, em que às necessidades de aquecimento que se situam elevadas todo o ano, acrescem as necessidades de arrefecimento. As necessidades de aquecimento são elevadas todo o ano devido a utilização de 2 caldeiras a gás natural, que perfazem um total de 620kW instalados de potencial nominal total.

Face as necessidades energéticas apresentadas, foi proposto ao projeto a instalação da solução chiller/bomba de calor reversível para satisfazer tantas as necessidades de aquecimento e arrefecimento em simultâneo a par de uma instalação de um sistema de painéis fotovoltaicos.

O elevado rendimento das bombas de calor é conhecido, permitindo consumir menos eletricidade e produzir menos agentes contaminantes. Esta tecnologia de chiller/bomba de calor reversível permite aproveitar o calor geotérmico armazenado no subsolo, com recuperação total do calor em ambos os ciclos, eliminando o consumo convencional das caldeiras.

A solução implementada permitiu **reduzir consumos em 80%** em aquecimento face à solução implementada anteriormente. Os painéis solares permitiram uma redução de consumo de eletricidade em 42,78MWh/ano, significando uma **redução de 12%**.

Esta solução implementada de bomba de calor geotérmica reversível com painéis solares, permitiu reduzir os consumos globais energéticos, apresentado um consumo anual de 407,92 MWh/ano, significando uma **redução de consumo energético do complexo termal em 51%**. Estes valores indicam ainda que o retorno da solução implementada é de 3,5 anos e ainda permite reduzir a emissão de GEE em 35%.

### **3.4. Parque Alexandre Aibéo - Jardim Botânico de Montanha (Covilhã)**

Este é um projeto de investigação e está inserido no âmbito do Projeto de Pesquisa Internacional e Colaborativa EdGeWiSe - Integração e Gestão de Sistemas Energéticos e Hídricos. O projeto tem como objetivo claro aplicar o conceito do Water-Energy Nexus, contribuindo para a integração dos sistemas hídricos e energéticos num único sistema de alta eficiência e ultrapassar os desafios teóricos da interligação de sistemas independentes [48].

O projeto tem como pontos alvo:

- contribuir para um futuro mais sustentável;
- utilizar o potencial energético do movimento da água para atender aos requisitos elétrico do parque;
- usar as horas de sol e vento para bombear água para o reservatório superior e armazenar o potencial hídrico;

- teste de produção automática para consumo automático no caso de sistemas integrados fechados;
- estudar a maximização da energia e eficiência de tais sistemas;
- melhorar e promover a eficiência com base em dados coletados por redes de sensores sem fio e de baixa potência;
- identificar fontes de energia renováveis em áreas urbanas e rurais;
- investigar novos métodos de captura e armazenamento de água e energia;
- estimular o uso inteligente das fontes de água e energia disponíveis;
- explorar o impacto da tecnologia “micro-hidro” nos sistemas fluviais.

Esta atividade contribui para avanços científicos no conceito que depois podem ser aplicados em projetos piloto como foi o caso do Parque Alexandre Aibéo – Jardim Botânico de Montanha na Covilhã. Este tipo de projetos piloto permite testar a integração dos sistemas que até então eram independentes e transpor as aprendizagens para redes maiores e sistemas integrados inseridos em *Smart Cities* e são estes sistemas que as tornam também *Smart Cities*.

Dentro deste conceito das *Smart Cities* algo que é importante é o planeamento, estabelecer um esquema teórico daquilo que se quer investigar. Na Figura 30 está o conceito que foi depois extrapolado para o projeto piloto em questão, que idealiza para um conjunto de comunidades (blocos cinzentos), a diferentes cotas, os sistemas de abastecimento de água, energia, águas residuais e ainda o sistema de gestão que permite otimizar todos os outros sistemas.

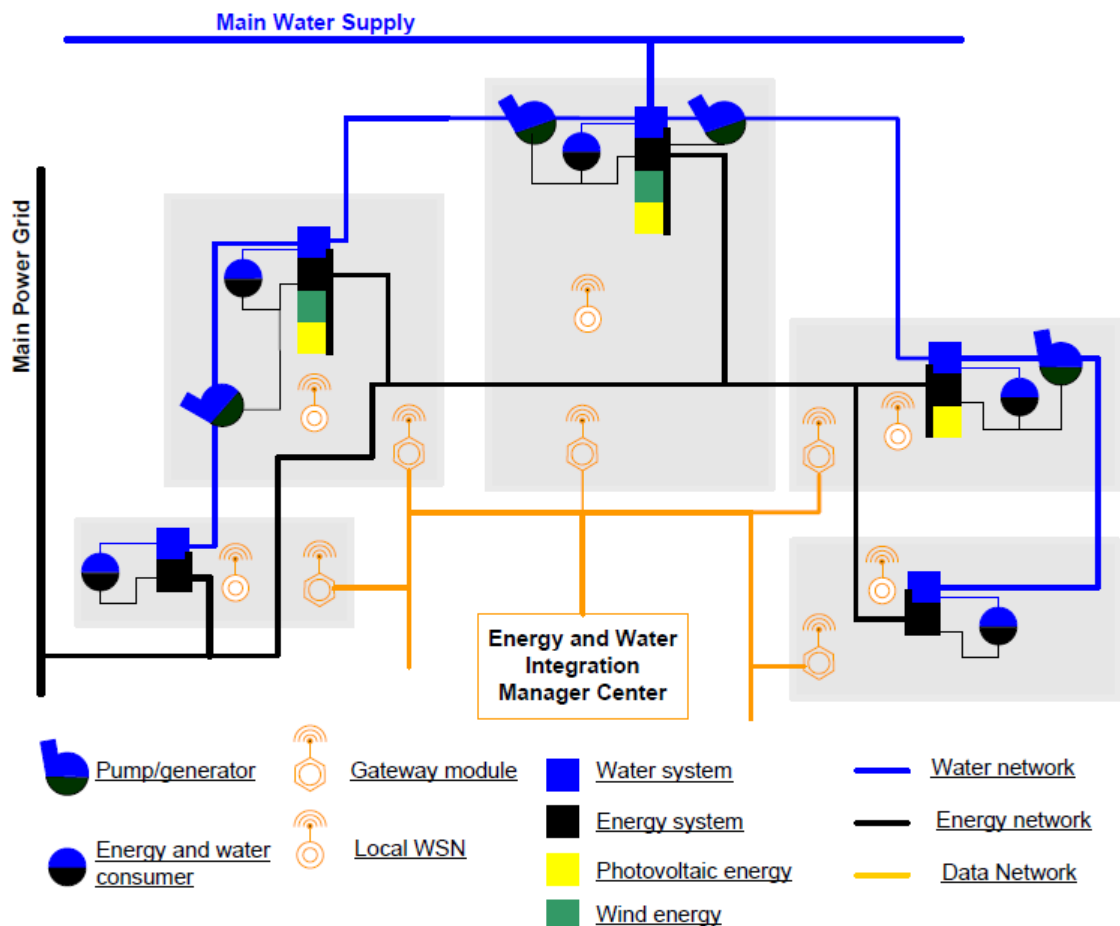


Figura 30 - Exemplo de gestão integrada de um sistema de Água e Energia.

Estes sistemas são ainda mais importantes em zonas que a energia não é de fácil acesso e principalmente porque as energias renováveis são intermitentes. Assim é possível armazenar energia durante o dia para usar na parte da noite em que os consumos são mais elevados, quer a nível municipal como residencial. A energia pode ser recuperada fazendo a água “cair”, girando turbinas e converter a sua energia potencial em energia elétrica. Para isto devem existir dois ou mais reservatórios em diferentes cotas, Figura 31. A gestão do nível de água dentro dos reservatórios deve ter em conta dois fatores:

- necessidade de água por parte dos consumidores;
- maximização da capacidade do sistema de armazenar energia.

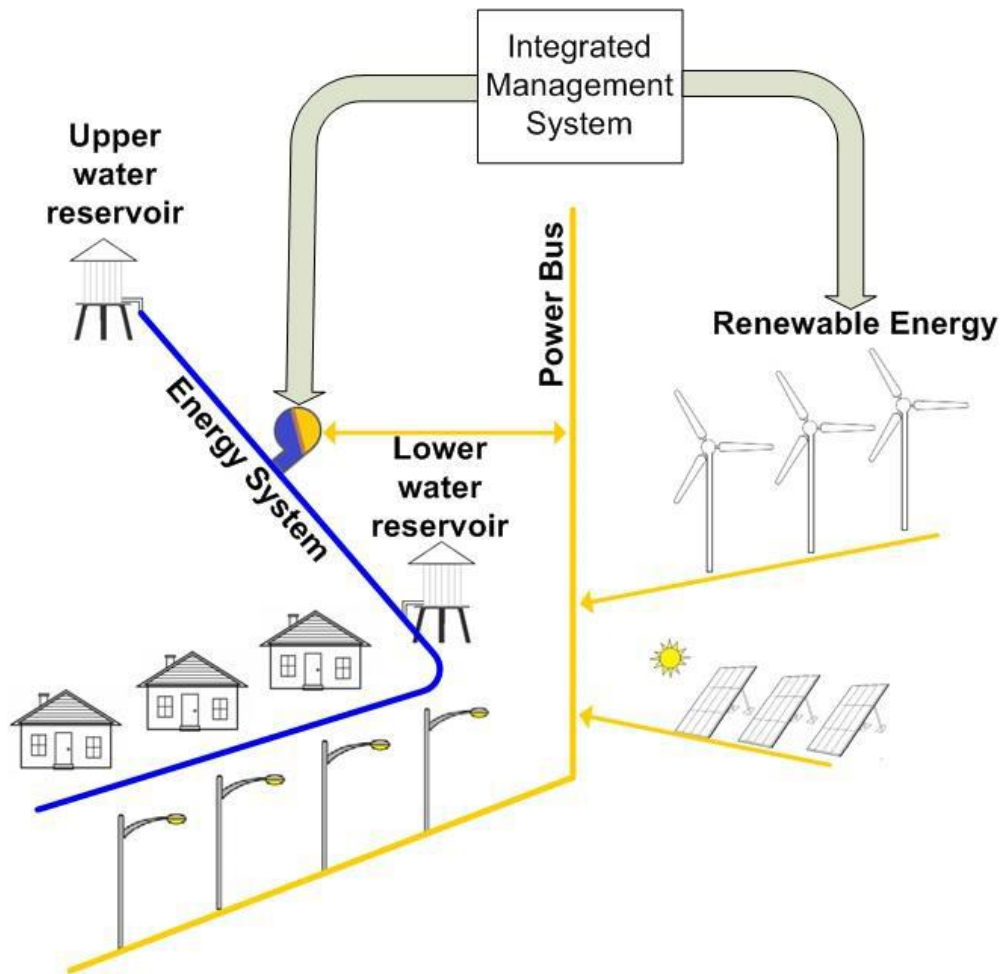


Figura 31 - Exemplo de sistema integrado de água e energia.

O sistema idealizado está previsto para atender às necessidades energéticas com vários tipos de fontes renováveis, responder com fontes de energia convencionais se necessário, armazenar o excedente das energias renováveis e ter um centro de gestão, otimização e controlo. Os requisitos do sistema integrado podem ser atendidos com uma estratégia de gestão de energia cujo objetivo principal é encontrar o equilíbrio entre o fornecimento imprevisível, a produção de energia renovável e a flutuação de exigência energética.

Os diferentes estados do sistema podem ser induzidos por:

- variação na produção de energia renovável;
- variação no consumo de energia;
- variação no consumo de água;
- variação dos níveis de armazenamento de energia e água nos reservatórios;
- configuração do sistema integrado incluindo as especificações dos equipamentos.

Este sistema prevê vários cenários, seja a partir do contributo das energias renováveis apenas solar, apenas eólica, solar e eólica ou apenas hídrica, como:

- Abundância de energias renováveis:
  - Sem excesso de produção;
  - Com excesso de quantidade:
    - injetar na rede;
    - desperdício (que pode ser reaproveitado na bombagem);
  
- Insuficiência de Energias Renováveis:
  - usar energias convencionais;
  - importar energia elétrica da rede.

A variação dos níveis de armazenamento de energia e água nos reservatórios depende essencialmente dos seguintes cenários:

- Armazenamento de energia:
  - capacidade dos reservatórios (no caso de energia hidroelétrica);
  - capacidade de carga;
  - capacidade de produção PAT (Pump as Turbine), painéis solares e turbina eólica vs consumo;
  
- Armazenamento de água:
  - capacidade do reservatório;
  - quantidade de água captada vs consumida.

Existem fatores externos que em muito influenciam a implementação de projetos como este:

- Água:
  - queda Líquida (m);
  - caudal disponível (m<sup>3</sup>/s);
  - continuidade do caudal;
  
- Sol:
  - irradiação solar horizontal (KWh/m<sup>2</sup>);
  - temperatura ambiente;
  - orientação da radiação solar;
  
- Vento:
  - intensidade e direção do vento;
  - número de horas equivalente à potência nominal.





## 4. Normalização no *Water-Energy Nexus*

Ao fazer uma revisão dos estudos desenvolvidos envolvendo o conceito *Water Energy Nexus* rapidamente encontramos uma grande variedade de estudos sobre a arquitetura de referência [6], [17], [21]–[24] e também de modelação e co-otimização [25]–[29]. A arquitetura de referência concentra-se nos sistemas de engenharia, distribuição e gestão que irão ser interligados por meio do conceito. Os sistemas são vistos como caixas em que as entradas e as saídas não são dinâmicas, mas sim consideradas constantes fixas de energia ou água. As arquiteturas de referência permitem a quem as estuda visualizar o seu modelo e estudar diversos cenários, variáveis e definir o escopo de atuação. No entanto a modelação concentra-se em modelos físicos aplicados e derivados analiticamente de cada subsistema. Estes modelos variam quanto à sua finalidade, como por exemplo: para o tratamento, dessalinização e distribuição de água num sistema de distribuição de energia [25]; numa operação de várias energias em que não estão apenas presentes a energia elétrica e a água, mas também gás [26]; co-otimização de redes de água e energia em *Smart Cities* [27], [28]; resiliência de sistemas sobre condições extremas [29].

Este capítulo concentrar-se numa arquitetura de referência que consiga ser o mais completa possível, em termos de usos de água e energia, de modo que se consiga exemplificar o maior número de normas relacionadas com o tema, direta ou indiretamente. Na revisão de bibliografia sobre arquitetura de referência [6], [17], [21]–[24] é normalmente definido um limite e contexto do sistema integrado, em quase todas as arquiteturas de referência analisadas têm dentro do seu limite os sistemas de distribuição de água, distribuição de energia e também o sistema de águas residuais. No entanto pode ser englobado a produção de energia através de combustíveis fósseis ou mesmo os consumos sejam eles de finalidade industrial, residencial, comercial ou agrícola. Dentro das funções de cada sistema existem várias abordagens que os autores podem manipular conforme os objetivos e os próprios limites estabelecidos. Dentro dos três sistemas mais comuns existem alguns exemplos de funções desenvolvidas e suas próprias variantes, como demonstrados na Figura 32, Figura 33, Figura 34 [6], [17], [21]–[24]:



Figura 32 - Funções dos Sistemas de Energia

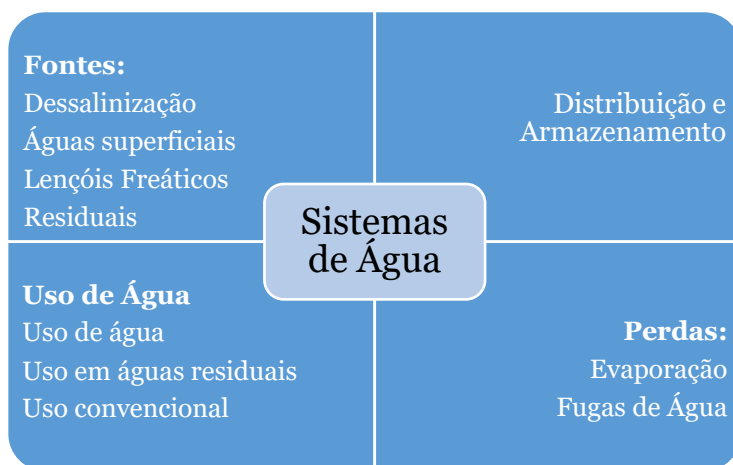


Figura 33 - Funções dos Sistemas de Água

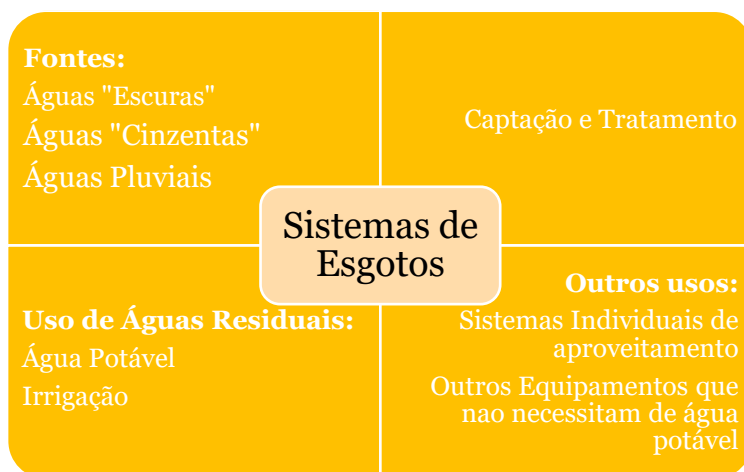


Figura 34 - Funções dos Sistemas de Esgotos

O papel da normalização é reconhecido seja qual for a atividade, permitindo regularizar e alinhar os vários setores das comunidades. Quando uma entidade trabalha sob uma norma, outras entidades, além de se reconhecerem mutuamente, conseguem alinhar o seu trabalho, seguindo a mesma linha contribuindo para o seu desenvolvimento.

Existem casos de estudo de normas que contribuem para a investigação do *Water Energy Nexus*, nos vários pontos das arquiteturas de referência. Em [49], a implementação da norma ISO 50001 na *University College Cork*, no âmbito da água e da energia, permitiu gerir mais eficientemente os consumos significativos de dispositivos como caldeiras de aquecimento e instalações sanitárias. São descritas as dificuldades da implementação da norma e ainda como foram ultrapassadas. A implementação da ISO 50001 nesta universidade permitiu reduzir a utilização de água em 18% no uso anual total, mesmo tendo havido um aumento de utilização. Um dos instrumentos que permite a aplicação da norma de sistemas de gestão de energia é a ISO 14046, Pegada Hídrica. A ISO 14046 serviu como instrumento para quantificar os consumos de água para que a gestão do recurso pudesse ser implementada.

As entidades gestoras de águas municipais, desdobram-se em esforços para cumprir metas estabelecidas interna ou externamente. A gestão dos recursos hídricos e energéticos são avaliados com recurso a indicadores que são adaptados de normas internacionais. Em [50] foi elaborada uma matriz de indicadores de desempenho energético, divididos por quatro categorias: ambientais, técnicos, sociais e governativos. Estes indicadores são instrumentos para as normas ISO 50001, ISO 9001 e ISO 14001, e permitem comparar sistemas entre si bem como comparar sistemas de comunidades diferentes. Este artigo ainda aplicou estes indicadores para o uso sustentável de energia em serviços municipais em Loulé, Portugal. Permitiu além de reduzir os consumos de energia diretos e indiretos no município, avaliar as preferências dos indicadores utilizados por parte de quem toma decisões.

## 4.1. Normas no Âmbito do Conceito

### *Energy management and energy savings*

#### **Série de Normas ISO 50001 desenvolvidas pela ISO / TC 301.**

A norma mãe, **ISO 50001: 2018** [51], especifica os requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um sistema de gestão de energia e o objetivo é que a organização siga uma abordagem sistemática alcançar uma melhoria contínua do desempenho energético. Para medição e verificação do desempenho energético a **ISO 50015: 2014** enquanto a **ISO 50006: 2014** [52] orienta para manter indicadores de desempenho de energia e linhas de base de energia. As **ISO 50046: 2019** [53], **ISO 50047: 2016** [54] e **ISO 50049: 2020** [55] especificam métodos, determinam e calculam a eficiência da economia de energia, respetivamente. Esta série conta ainda com 15 normas no total.

#### **Série de normas ISO 17740 desenvolvida pela ISO / TC 301.**

A **ISO 17741:2016** [56] aborda regras para o cálculo e verificação de eficiência energética. A **ISO 17742:2015** [57] considerando todos os setores como residências, indústria e terciário, baseia-se em indicadores ou medidas para entidades geográficas de países, regiões e cidades. A **ISO 17743:2016** [58] define uma metodologia para relatar os cálculos da eficiência energética, linhas base e princípios de um relatório para a aplicação noutras normas como as anteriores.

### *Sustainable cities and communities*

#### **A norma ISO 37101 desenvolvida pela ISO / TC 268.**

A importância do desenvolvimento através de um “sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável”, coerente com a política existente na comunidade, é definida na **ISO 37101: 2016** [59]. Esta norma dá ênfase ainda à “promoção da inteligência e resiliência da comunidade”, tendo como objetivo a “implementação de estratégias” e “estabelecer uma estrutura organizacional e fornecer os recursos necessários. Esta série conta com 10 normas no total.

#### **A série de normas ISO 37120 desenvolvida pela ISO / TC 268.**

Esta série de normas fornece indicadores para cidades e comunidades sustentáveis. Particularmente a **ISO 37122:2019** [60] estabelece definições e metodologias para calcular indicadores para cidades inteligente e a **ISO 37123:2019** [61] para cidades resilientes.

### ***Smart community infrastructures***

#### **Série de Normas ISO 37150 e série de normas ISO 37160 desenvolvidas pela ISO / TC 268 / SC 1.**

Nesta série é abordada pela **ISO / TR 37150: 2014** [62], a “inteligência implementada em tecnologias e soluções”. bem como as “infraestruturas de energia, água, distribuição e comunicação” duma comunidade inteligente. O principal objetivo desta primeira norma da série é a “análise de metodologias existentes”. A **ISO / TS 37151: 2015** [63] define “princípios e requisitos para a medição” e os “indicadores para o desempenho”. É na **ISO / TR 37152: 2016** [64] que é “desenvolvida a estrutura base da comunidade inteligente desde o seu planeamento à sua manutenção” e a **ISO 37153: 2017** [65] “fornece a base para avaliação do desempenho técnico, processos e interoperabilidade” dessa mesma estrutura. A **ISO 37156:2020** [66] “fornece diretrizes e princípios sobre a estrutura da troca e partilha de dados para entidades com autoridade sobre a infraestrutura comunitária”.

A **ISO 37160:2022** [67] para infraestruturas de energia térmica, especifica métodos para medir a qualidade e requisitos para operação e gestão, destinados a entidades gestoras da rede elétrica e outras partes integrantes do sistema gestão da rede. Já a **ISO 37166:2022** [68] recentemente publicada, permite a integração dos dados urbanos para o planeamento de cidades inteligentes, incluindo as diferentes características de dados, a sua heterogeneidade e os níveis de segurança necessários. Esta norma permite concentrar dados de infraestrutura urbana de água, transporte, energia, drenagem e resíduos.

#### **A norma ISO/DIS 37170 está a ser desenvolvida pela ISO / TC 268 / SC 1.**

A **ISO/DIS 37170** [69] está atualmente a ser desenvolvida e fornecerá diretrizes sobre uma estrutura de dados para a governança de infraestrutura baseada em tecnologia digital em cidades inteligentes. Será necessário aguardar para perceber a que desafios esta norma poderá responder dentro do contexto do WEN.

### ***Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems***

#### **A ISO 46001: 2019 desenvolvida pela ISO / TC 224.**

Este Comité Técnico “padroniza conceitos de gestão das atividades de serviço relacionadas com sistemas de abastecimento de água potável, residual e pluvial.

A **ISO 46001: 2019** [70] “especifica desde orientações de planeamento à fase de manutenção de um sistema de gestão de eficiência hídrica, focado no consumidor final”. Esta eficiência é obtida a partir de uma “abordagem de reduzir, substituir e reutilizar”. Reduzir através da deteção de fugas de água ou de maus usos, substituir através da

“substituição de água potável por águas do mar ou águas das chuvas” e, por fim, a “reutilização, de por exemplo, águas cinzentas”.

#### **A série de normas ISO 24510 desenvolvida pela ISO / TC 224.**

A série de normas que começa na **ISO 24510: 2007** [71] é direcionada para a qualidade dos serviços de água potável, pluvial e esgotos, tendo sempre em vista o consumidor final. A norma **ISO 24523:2017** [72] fornece diretrizes e descreve a estrutura e métodos para *benchmarking* das boas praticas implementadas pelas entidades gestoras de água. A recente norma **ISO 24528:2021** [73] vem fornecer uma metodologia para aplicar na investigação de perdas de água nas redes de distribuição. Esta fornece inicialmente um procedimento para avaliação, através do balanço hídrico, e ainda a preparação de um plano de gestão de perdas. Define ainda alguns termos importantes para a comunidade internacional desta área.

#### **A norma ISO/CD 24591-1 está a ser desenvolvida pela ISO / TC 224.**

A norma **ISO/CD 24591-1** [74] está atualmente em desenvolvimento e é a primeira parte de uma série de normas sobre Gestão Inteligente de Água, com diretrizes gerais e de governança. Se necessário aguardar para perceber os desafios que permitirá responder concretamente.

### ***Solar Energy***

#### **A ISO 9488:2022 desenvolvida pela ISO / TC 180.**

A norma **ISO 9488:2022** [75] vem recentemente atualizar o vocabulário relativamente à energia solar. Desde a versão remetente a 1999 muitas foram as inovações neste campo de tecnologias para produzir eletricidade ou para processos que usam altas temperaturas. Nesta norma estão incluídos a medição da radiação solar, aquecimento de água e ambiente, refrigeração, aquecimentos industriais e ar condicionado.

### ***Systems - Thermal performance, reliability and durability***

#### ***(Solar heating - Domestic water heating systems)***

#### **Série de normas ISO 9459 desenvolvida pela ISO / TC 180 / SC 4.**

A norma **ISO 9459** [76] tem como objetivo a “avaliação do desempenho anual de energia de aquecedores solares de água domésticos”. Além de “especificar o método de avaliação” também especifica o “modelo matemático para determinar o desempenho de um ciclo sobre carga e situações climáticas específicas”. Esta norma contém 4 partes.

#### **A ISO 24194:2022 desenvolvida pela ISO / TC 180 / SC 4**

A recente norma **ISO 24194:2022** [77], “especifica procedimentos para verificar desempenho de coletores solares térmicos”. A verificação pode ser feita através da

avaliação da potência térmica ou através do rendimento diário do coletor e para esses procedimentos como comparar uma saída medida com uma calculada.

### ***Building environment design***

#### **A norma ISO 17800: 2017 desenvolvida pela ISO / TC 205.**

Este Comitê Técnico, **ISO / TC 205** [78], padroniza projeto de edifícios, novos ou em reconstrução, para atingir um nível de conservação e eficiência energética considerável. Conta com 37 normas publicadas, algumas delas estão enumeradas de seguida.

A norma **ISO 17800: 2017** [79] “fornece a base de comunicação de instalações residenciais, industriais e comerciais, estabelecendo a descrição dos consumos e a sua gestão com apoio em previsões de perfil de energia elétrica”. Abordas ainda questões relacionadas com “geração local, exigência de resposta, armazenamento e monitorização da qualidade de serviços”.

#### **Série de Normas ISO 11855 e série de normas ISO 13612 desenvolvida pela ISO / TC 205.**

A série de normas **ISO 11855** [80], para projeto de construção, fornece diretrizes para determinar capacidade de aquecimento e arrefecimento, projetar, dimensionar e instalar sistemas integrados de aquecimento e arrefecimento. Os sistemas integrados abordados são à base de fluxo de água, aplicáveis a edifícios residenciais, comerciais e industriais. Esta série conta com 7 normas.

Nesta série a **ISO 11855-2: 2021** [81] “especifica procedimentos e condições para permitir que o fluxo de calor em sistemas de aquecimento e arrefecimento de superfícies à base de água. É fornecido um modelo e documentos para cálculo e determinação do desempenho energético do projeto. A **ISO 11855-4: 2021** [82] “permite o cálculo do pico de capacidade de arrefecimento de sistemas construtivos termo ativos, com base nos ganhos de calor, como ganhos solares, ganhos de calor interno e ventilação, e o cálculo da exigência de energia de arrefecimento do lado da água”. A **ISO 11855-5: 2021** [83] “especifica requisitos gerais e uniformes para o projeto e construção de piso, estruturas de teto e paredes, de aquecimento e arrefecimento. A **ISO 11855-6: 2018** [84] “estabelece diretrizes para o controlo destes sistemas integrados”.

A série de normas **ISO 13612** [80] conta com 2 normas, relativas a sistemas de aquecimento e arrefecimento em edifícios. A **ISO 13612-1: 2014** [85] para projeto e dimensionamento de sistemas com bomba de calor, “é aplicável a bombas de calor para aquecimento e refrigeração ambiente, aquecedores de água com bomba de calor, bombas de calor com aquecimento e refrigeração ambiente combinados e produção de água quente sanitária”. A **ISO 13612-2: 2014** [86], [87] “fornece um método de cálculo de

energia em condições estáveis “e “levam em consideração a influência das condições externas e do controlo do edifício”.

### **Série de Normas ISO 16484 desenvolvida pela ISO / TC 205.**

A série **ISO 16484** [87] normaliza os sistemas de automação e controlo predial, fornece especificações para implementação de projetos, hardware, funções e comunicação de dados.

### ***Internet of things***

#### **A norma ISO / IEC 30101: 2014 desenvolvida pela ISO / IEC JTC 1 / SC 41.**

A **ISO / IEC 30101: 2014** [88] serve para orientar “redes de sensores inseridas numa smart grid parece finalidades como geração de energia, distribuição, armazenamento, eficiência e comunicações”. “Os dados são tratados de maneira coordenada pelos vários sistemas da rede”. “A própria inteligência adquirida pela rede de sensores sincroniza as respostas e processa as informações para a interface gráfica do utilizador”. Esta norma “especifica a arquitetura da smart grid, a interface das redes e os aplicativos e serviços cruciais na área”.

#### **A norma IEEE 2413-2019 desenvolvida pela IEEE SA BOG / CAG.**

A norma **IEEE 2413-2019** [88] fornece uma “descrição dum estrutura de arquitetura motivada por preocupações consensuais nos sistemas da Internet das Coisas”.

O primeiro subcapítulo desta norma, **P2413.1** [89] direciona-se para a “implementação de uma Smart City” “em que é estabelecido o modelo de arquitetura”, “com base em requisitos governamentais, empresas e consumidores”. Nesta arquitetura estão inseridas aplicações de “gestão de água, resíduos, iluminação e edifícios inteligentes”. Esta inclui ainda o “centro das operações inteligentes” e define as quatro camadas. A camada de dispositivo, camada de comunicação, camada da plataforma de Internet das Coisas e a camada do aplicativo.

O segundo subcapítulo, **P2413.2** [89] aborda o projeto para desenvolvimento dum rede de distribuição inteligente interligando os vários componentes da rede elétrica. O seu rápido desenvolvimento é possível baseando-se em micros serviços interligados por uma rede de comunicação que permita a tomada de decisão em tempo real. Define o “centro de operação de distribuição de energia e as suas interações”, bem como as interfaces.

### ***Energy Development & Power Generation***

#### **A norma IEEE 1827-2016 desenvolvida pela HPS - WG 1827 da PE / EDPG.**

Esta norma, **IEEE 1827-2016** [90], orienta para os “projetos elétricos e controlo de instalações para o transporte de água em projetos hidroelétricos”, tanto em “novos

projetos, reabilitações ou substituições”. É fornecida orientação de “trabalho elétrico e instrumentação” bem como para o “controlo seguro dos sistemas desvio e modos de falha”.

#### **A norma P2886 desenvolvida pela SRWSWG da CTS/SC.**

A norma **P2886** [91] fornece “a arquitetura para sistemas residenciais inteligentes de água”. São definidos modelos de troca de informação e também de interface, apoiados em aplicações usuais e com soluções inteligentes.

#### ***Environmental management systems***

##### **A norma ISO 14001:2015 desenvolvida pela ISO/TC 207 / SC 1.**

A **ISO 14001:2015** [92] fornece às organizações que pretendem melhorar o seu desempenho ambiental, diretrizes que permitem organizar e gerir as suas responsabilidades de forma sistemática. Esta norma inclui a construção deste sistema com base na melhoria do desempenho ambiental, cumprimento das obrigações e a realização dos objetivos da própria organização.

#### ***Life cycle assessment***

##### **As normas ISO 14046: 2014 e ISO/TR 14073: 2017 desenvolvida pela ISO/TC 207 / SC 5.**

A norma **ISO 14046: 2014** [93] “especifica diretrizes para avaliação da pegada hídrica em organizações ou produtos”, bem como “avaliação independente ou como parte duma avaliação global”. O resultado da pegada hídrica é apresentado “num valor único ou num perfil de resultados dentro de certos parâmetros”. Por outro lado, a norma **ISO / TR 14073: 2017** [94] “fornece exemplos ilustrativos” da norma anteriormente descrita, que “demonstram aspetos particulares” da aplicação da **ISO 14046**.

#### ***Water Reuse***

##### **Série de normas desenvolvida pela ISO / TC 282.**

Este comité está dividido em 4 subcomités:

A **ISO / TC 282 / SC 1** com a série de normas **ISO 16075** [95] e a **ISO 20419: 2018** [96] para a Reutilização de águas residuais tratadas para irrigação, no âmbito de projeto, monitoramento e boas práticas [97].

A **ISO / TC 282 / SC 2** [98] fornece normas para a Reutilização de água em áreas urbanas. A série de normas **ISO 20760** [99] para sistemas centralizados, a **ISO 23056: 2020** [100] em sistemas descentralizados, tratamento de águas e análises de custos;

A **ISO / TC 282 / SC 3** [101] normaliza a Avaliação de risco e desempenho de sistemas de reuso de água através da série de normas **ISO 20468** [102] e a **ISO 20426: 2018** [103] para avaliação e gestão de riscos à saúde para reutilização de água não potável; A **ISO / TC 282 / SC 4** [104] fornece normas para a Reutilização de água industrial. A **ISO 21939-1: 2019** [105] permite calcular e expressar o consumo de energia de tratamento de águas residuais industriais para fins de reutilização de água, a série **ISO 22447** [106] para calcular consumos, classificação, recuperação para arrefecimento de águas industriais e a **ISO 23044: 2020** [107] para dessalinização de águas residuais industriais para reutilização bem como métodos de avaliação.

### ***Water Quality***

#### **Cerca de 330 normas desenvolvidas pela ISO / TC 147.**

As normas da qualidade da água incluem definição de termos, amostragem de águas, medição e relato das características da água. Este comité técnico divide-se em 6 subcomités com os seguintes temas: Terminologia; Métodos físicos, químicos e bioquímicos; Medidas de radioatividade; Métodos microbiológicos; Métodos biológicos e Amostragem [108].

### ***Hydrometry***

#### **Cerca de 65 normas desenvolvidas pela ISO / TC 113.**

As normas de hidrometria incluem orientação de “terminologia, coleta, análise e interpretação de dados e avaliação de incertezas” em: “nível de água, velocidade, descarga, transporte sedimentos, precipitação, evapotranspiração e disponibilidade em lençóis freáticos” [109].

### ***Measurement of fluid flow in closed conduits***

#### **Cerca de 44 normas desenvolvidas pela ISO/TC 30.**

Normas que servem regras e métodos para a medição de fluxo de fluido em condutas fechadas. Terminologia, definições, instalação, operação, construções, estão incluídas nem conjunto de normalização [110].

### ***Valves, Iron and Plastic Pipes***

#### **Cerca de 379 normas desenvolvidas pela ISO/ TC 138, ISO / TC 5 / SC 2 e ISO / TC 153.**

Normas que padronizam o campo das válvulas industriais, incluindo acessórios e as que normalizam o campo das tubulações, incluindo juntas, permitem uma maior confiança

de sistemas de água. As normas abordam requisitos, tolerâncias, propriedades químicas, mecânica e física, e classificações de temperatura e pressão [111]–[113].

Na Tabela 10, o resumo das normas aplicáveis ao Water-Energy Nexus.

Tabela 10 - Lista de Normas Aplicáveis ao Water Energy Nexus

<b>Standard</b>	<b>Technical Committee</b>	<b>Definition</b>
<b>ISO 50001: 2018</b>	<i>ISO/TC 301 Energy management and energy savings</i>	<i>Energy management systems – Requirements with guidance for use</i>
<b>ISO 50015: 2014</b>		<i>Energy management systems – Measurement and verification of energy performance of organizations – General principles and guidance</i>
<b>ISO 50006: 2014</b>		<i>Energy management systems – Measuring energy performance using energy baselines and energy performance indicators – General principles and guidance</i>
<b>ISO 50046: 2019</b>		<i>General methods for predicting energy savings</i>
<b>ISO 50047: 2016</b>		<i>Energy savings – Determination of energy savings in organizations</i>
<b>ISO 50049: 2020</b>		<i>Calculation methods for energy efficiency and energy consumption variations at country, region and city levels</i>
<b>ISO 17741: 2016</b>		<i>General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects</i>
<b>ISO 17742: 2015</b>		<i>Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities</i>
<b>ISO 17743: 2016</b>		<i>Energy savings – Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings</i>
<b>ISO 37101: 2016</b>	<i>ISO / TC 268 Sustainable cities and communities</i>	<i>Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use</i>
<b>ISO 37122:2019</b>		<i>Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities</i>
<b>ISO 37123:2019</b>		<i>Sustainable cities and communities – Indicators for resilient cities</i>
<b>ISO/TR 37150: 2014</b>	<i>ISO / TC 268 / SC 1 Smart community infrastructures</i>	<i>Smart community infrastructures – Review of existing activities relevant to metrics</i>
<b>ISO/TS 37151: 2015</b>		<i>Smart community infrastructures – Principles and requirements for performance metrics</i>

<b>ISO/TR 37152: 2016</b>		<i>Smart community infrastructures – Common framework for development and operation</i>
<b>ISO/TR 37153: 2017</b>		<i>Smart community infrastructures – Maturity model for assessment and improvement</i>
<b>ISO 37156:2020</b>		<i>Smart community infrastructures – Guidelines on data exchange and sharing for smart community infrastructures</i>
<b>ISO 37166:2022</b>		<i>Smart community infrastructures – Urban data integration framework for smart city planning</i>
<b>ISO/DIS 37170</b>		<i>Smart community infrastructures – Data framework for infrastructure governance based on digital technology in smart cities</i>
<b>ISO 46001: 2019</b>	<i>ISO / TC 224 Service activities</i>	<i>Water efficiency management systems – Requirements with guidance for use</i>
<b>ISO 24510: 2007</b>	<i>relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems</i>	<i>Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users</i>
<b>ISO 24523:2017</b>		<i>Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater systems – Guidelines for benchmarking of water utilities</i>
<b>ISO 24528:2021</b>		<i>Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems – Guideline for a water loss investigation of drinking water distribution networks</i>
<b>ISO/CD 24591-1</b>		<i>Smart water management – Part 1: General guidelines and governance</i>
<b>ISO 9488:2022</b>	<i>ISO / TC 180 Solar Energy</i>	<i>Solar energy – Vocabulary</i>
<b>ISO 9459: 93-07</b>	<i>ISO / TC 180 / SC 4</i>	<i>Solar heating – Domestic water heating systems</i>
<b>ISO 24194: 2022</b>	<i>Systems - Thermal performance, reliability and durability (Solar heating - Domestic water heating systems)</i>	<i>Solar energy – Collector fields – Check of performance</i>
<b>ISO 17800: 2017</b>	<i>ISO / TC 205</i>	<i>Facility smart grid information model</i>
<b>ISO 11855: 18-21</b>	<i>Building environment design</i>	<i>Building environment design – Embedded radiant heating and cooling systems</i>
<b>ISO 13612:2014</b>		<i>Heating and cooling systems in buildings – Method for calculation of the system performance and system design for heat pump systems</i>
<b>ISO 16484: 04-20</b>		<i>Building automation and control systems</i>

<b>ISO/IEC 30101: 2014</b>	<i>ISO/IEC JTC 1 / SC 41 Internet of things</i>	<i>Information technology – Sensor networks: Sensor network and its interfaces for smart grid system</i>
<b>ISO/IEC 30182:2017</b>	<i>ISO/IEC JTC 1 Information technology</i>	<i>Smart city concept model – Guidance for establishing a model for data interoperability</i>
<b>IEEE 2413-2019 P2413.1 P2413.2</b>	<i>IEEE SA BOG / CAG Internet of things</i>	<i>IEEE Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things Standard for a Reference Architecture for Smart City Standard for a Reference Architecture for Power Distribution IoT</i>
<b>IEEE 1827-2016</b>	<i>HPS - WG 1827 PE / EDPG</i>	<i>IEEE Guide for Electrical and Control Design of Hydroelectric Water Conveyance Facilities</i>
<b>P2886</b>	<i>SRWSWG CTS/SC Emerging Technology Standards Committee</i>	<i>Standard for General Requirements for Smart Residential Water Systems</i>
<b>ISO 14001:2015</b>	<i>ISO/TC 207/SC 1 Environmental management systems</i>	<i>Environmental management systems – Requirements with guidance for use</i>
<b>ISO 14046: 2014</b>	<i>ISO/TC 207 / SC 5 Life cycle assessment</i>	<i>Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines</i>
<b>ISO/TR 14073: 2017</b>		<i>Environmental management – Water footprint – Illustrative examples on how to apply ISO 14046</i>
<b>ISO 16075: 20-21</b>	<i>ISO/TC 282/SC 1 Treated wastewater reuse for irrigation</i>	<i>Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects</i>
<b>ISO 20419: 2018</b>		<i>Treated wastewater reuse for irrigation – Guidelines for the adaptation of irrigation systems and practices to treated wastewater</i>
<b>ISO 20760: 17-18</b>	<i>ISO / TC 282 / SC 2 Water reuse in urban areas</i>	<i>Water reuse in urban areas – Guidelines for centralized water reuse system</i>
<b>ISO 20761:2018</b>		<i>Water reuse in urban areas – Guidelines for water reuse safety evaluation – Assessment parameters and methods</i>
<b>ISO 23056: 2020</b>		<i>Water reuse in urban areas – Guidelines for decentralized/onsite water reuse system – Design principles of a decentralized/onsite system</i>
<b>ISO 20426: 2018</b>	<i>ISO / TC 282 / SC 3 Risk and performance evaluation of water reuse systems</i>	<i>Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse</i>
<b>ISO 20468: 18-21</b>		<i>Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems</i>

<b>ISO 21939-1: 2019</b>	<i>ISO / TC 282 / SC 4 Industrial water reuse</i>	<i>A method to calculate and express energy consumption of industrial wastewater treatment for the purpose of water reuse</i>
<b>ISO 22447:2019</b>		<i>Industrial wastewater classification</i>
<b>ISO 23044:2020</b>		<i>Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse</i>
<b>330 Standards</b>	<i>ISO / TC 147 Water Quality</i>	
<b>65 Standards</b>	<i>ISO / TC 113 Hydrometry</i>	
<b>44 Standards</b>	<i>ISO/TC 30 Measurement of fluid flow in closed conduits</i>	
<b>379 Standards</b>	<i>ISO/ TC 138 ISO / TC 5 / SC 2 ISO / TC 153 Valves, Iron and Plastic Pipes</i>	

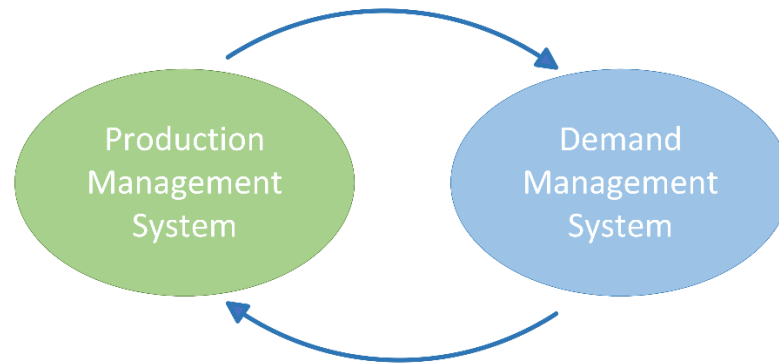
## 4.2. Cenário de Aplicação

Na sequência do levantamento das normas um cenário de uma comunidade inteligente e autossuficiente permite verificar a aplicação das normas ao WEN. O cenário está focado nos recursos hídricos, suas utilizações e reutilizações.

A finalidade é aproveitar a energia potencial gravítica da água, retirando partido da orografia das cidades. O cenário permite descrever uma forma de armazenar a energia obtidas de fontes de energia de base renovável. Dispondo assim de energia em qualquer momento, visto que a disponibilidade da energia solar e eólica é aleatória. Este cenário é composto por um sistema que aproveita a energia solar e eólica, quando disponível, para bombear a água para os reservatórios numa cota mais alta, de modo que esta possa ser utilizada para gerar energia quando necessária noutros horários. A energia armazenada pode encontrar aplicação na da iluminação pública, em que essas energias limpas não estão disponíveis.

Este sistema envolve reservatórios em cotas diferentes com duas ligações diferentes. A descendente para produzir energia através da energia potencial da água e a ascendente para bombear a água de modo a aproveitar a energias renováveis. A quantidade de água nestes reservatórios tem de ser monitorizada, tendo em vista os consumos e as suas necessidades. O Sistema de Gestão da Produção e o Sistema de Gestão da Procura

necessitam de estar em constante comunicação, Figura 35, para manter a segurança do sistema, de modo que se consiga a otimização da utilização das energias renováveis sem prejudicar a capacidade de o sistema responder aos consumos.



*Figura 35 - Interação entre Production Management System e o Demand Management System*

Este cenário, Figura 36, está organizado em 5 grandes grupos: **Produtores de Energia** renovável, a uma grande escala, em que se inserem os parques eólicos, os parques solares, sistemas de aproveitamentos hídricos, bem como os sistemas integrados destas mesmas energias limpas; **Residências** que pretendem evidenciar os sistemas individuais para produção de energia ou reaproveitamento de águas residuais, nomeadamente águas cinzentas, e outros sistemas descentralizados; **Comunidades de Energia** ou bairros inteligentes que entre si produzem e consomem a energia necessária, partilham redes prediais de água e de esgotos, uma rede elétrica comum, e ainda outros sistemas centralizados; **Infraestruturas Comunitárias** como jardins que têm consumos hídricos e energéticos, os transportes individuais e públicos elétricos, iluminação urbana; **Indústria** que é grande consumidora de energia elétrica e de água mas que cada vez mais se vai tornando produtora das suas próprias energias, ainda eletrificando os seus consumos e reaproveitando águas dos vários processos produtivos.

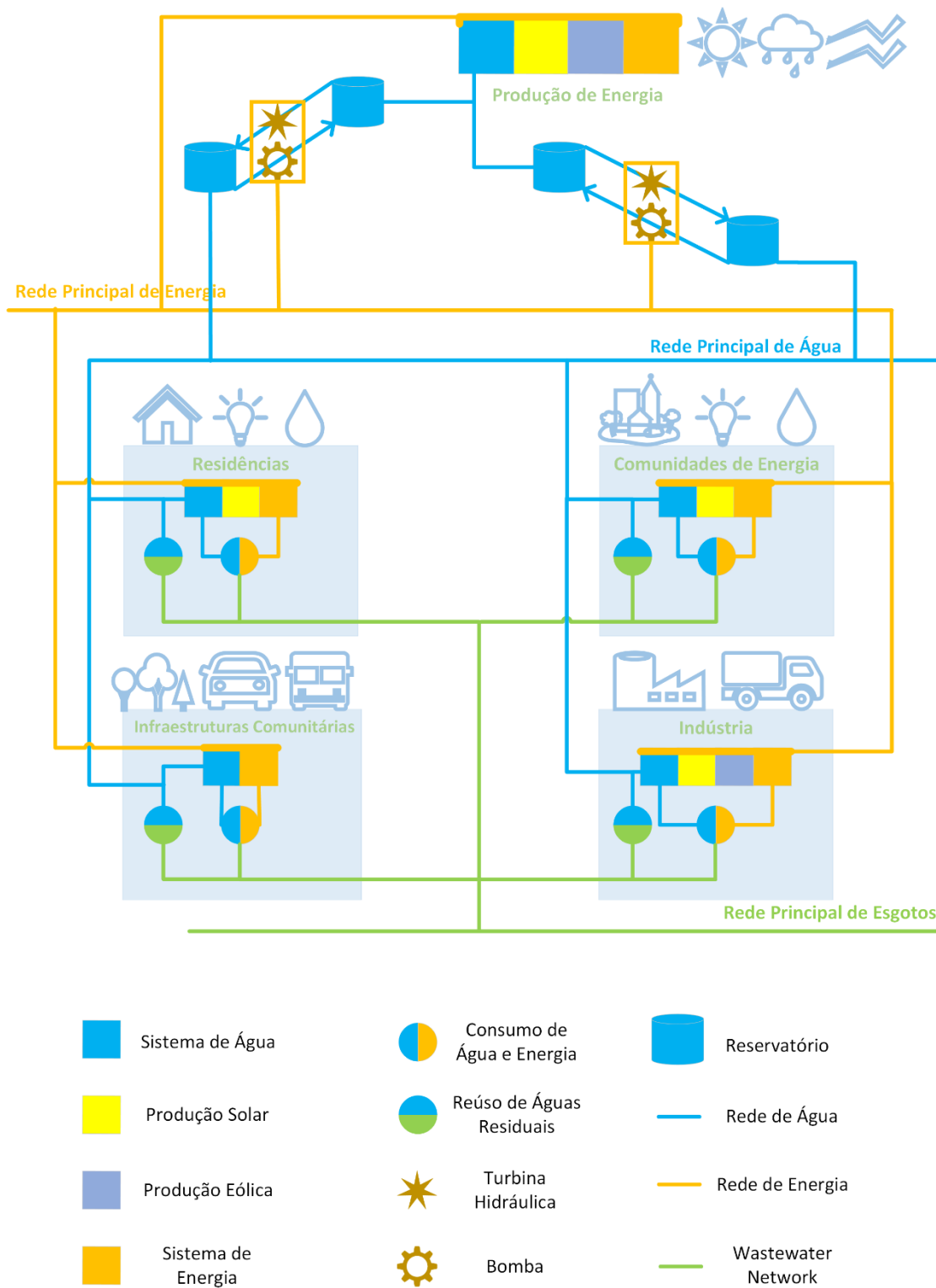


Figura 36 - Cenário de aplicação das normas ao Water Energy Nexus

O mesmo cenário, mas com apenas os grandes grupos, Figura 37, e as suas interações por via de IoT, sem necessidade de conectividade física permitindo gerir os vários pontos de uma *Smart City* a partir de um único sistema de gestão de energia. Gerindo desde a produção de energia e os sistemas integrados, gerindo os consumos e distribuição sejam eles também de água ou energia ou gerir a utilização de outras energias numa fase de transição.

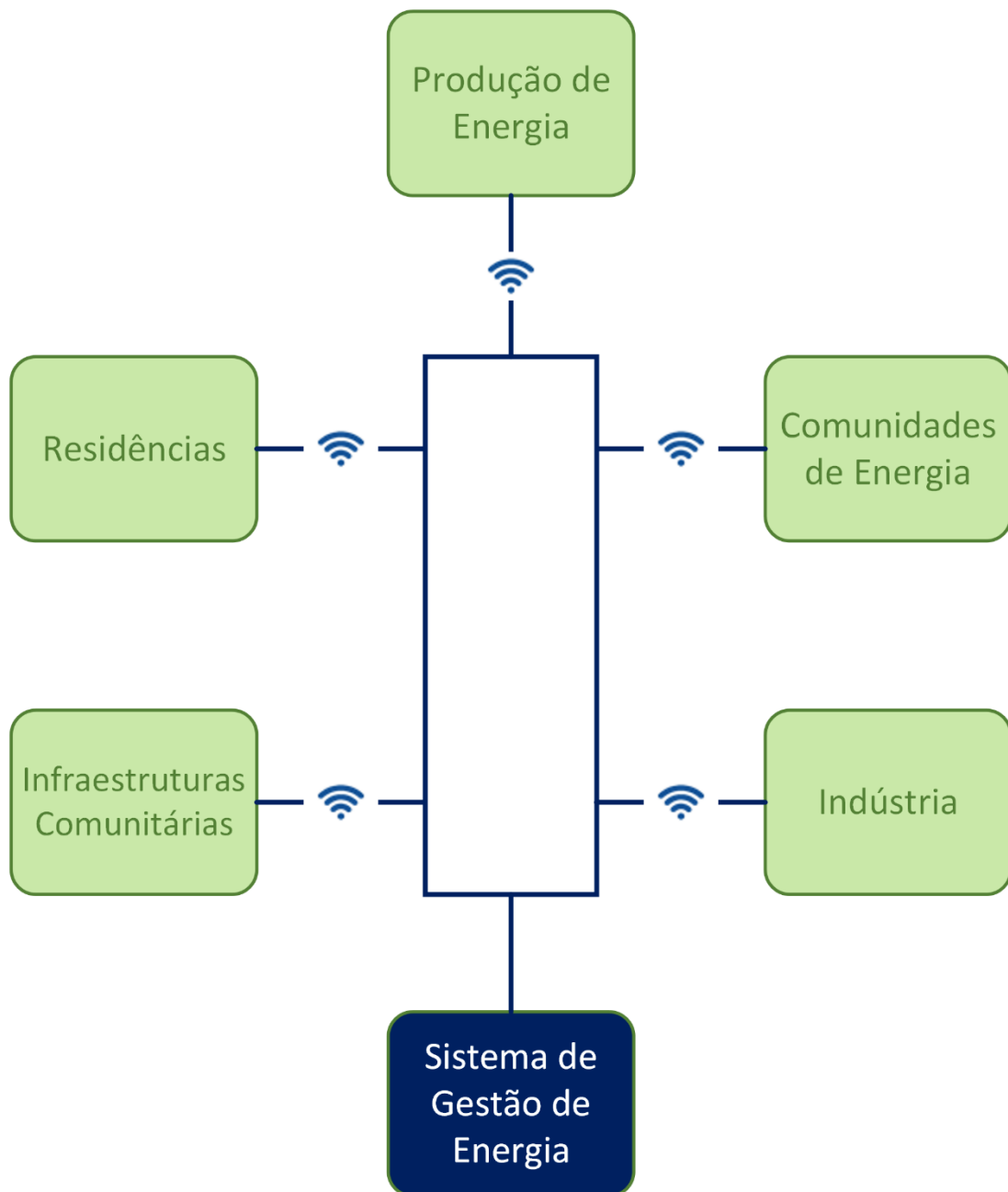


Figura 37 - Sistema de gestão de energia do cenário de aplicação das normas

No primeiro grande grupo, Produtores de Energia e respectivos sistemas de distribuição, para sistemas de aproveitamento da energia potencial da água a **IEEE 1827-2016** serve de guia para projetos hidroelétricos, que fornece diretrizes para o trabalho elétrico e instrumentação, bem como para o controlo seguro dos sistemas de desvio e modos de falha. A **ISO 24510: 2007** direcionada para entidades gestoras de água municipais para sistemas de água potável e residual, proporciona elementos para um serviço de qualidade do ponto de vista do consumidor final, sendo que são as normas dos comités **ISO / TC 113**, **ISO / TC 30**, **ISO / TC 138** e a **ISO / TC 153** que fornecem informação sobre hidrometria, fluxo em condutas, canalizações e válvulas, respetivamente. Ainda sobre a qualidade de serviços e da água o **ISO/TC 147** conta com centenas de normas relativas à qualidade da água. A **ISO / TC 282 / SC 3** fornece diretrizes para a avaliação de risco e desempenho de sistemas de reuso de água através da série de normas **ISO 20468** e a **ISO 20426: 2018** para avaliação e gestão de riscos à saúde para reutilização de água não potável;

Em transição dos produtores de energia para as residências a **Série ISO 9459** para sistemas de aquecimento de água para uso doméstico, a partir do aquecimento solar, fornece diretrizes para avaliação do desempenho global destes sistemas e especifica o modelo matemático para diferentes condições climatéricas.

Para iniciar o estudo ambiental do uso de água, quer seja em edifícios de habitação, empresas, ou infraestruturas de apoio, é possível calcular a pegada hídrica através da **ISO 14046:2014** e ter uma perspetiva real da melhoria que é possível obter. Nos edifícios é possível ainda fazer o reaproveitamento da energia térmica das águas residuais para aquecimento ambiente, ou mesmo o reaproveitamento de águas cinzentas para descargas de autoclismo através de sistemas individuais implementados em edifícios, possível através de sistemas inteligentes para água residencial com diretrizes fornecidas pela **IEEE – P2886**. Esta série anteriormente referida, fornece a arquitetura para sistemas residenciais inteligentes de água que poderão incluir sistemas individuais simples para aproveitamento, por exemplo, das águas dos banhos para descargas de autoclismo, ou mesmo sistemas mais complexos de coleta de águas residuais, incluindo as águas pluviais, tratando-as para as diversas utilizações. Relativamente a estes sistemas mais complexos descentralizados que é possível instalar em edifícios, incluindo os reservatórios para coletar e armazenar essa água até que seja utilizada, a **ISO 23056: 2020** fornece diretrizes para esses mesmos sistemas descentralizados, tratamento de águas e análises de custos.

Às comunidades de energias são obviamente aplicáveis as mesmas normas que as que são aplicáveis aos edifícios individuais, com o acrescento de que estas podem cooperar entre si e têm ao seu dispor normas que orientam estes bairros inteligentes a partilhar recursos. A série de normas **ISO 13612** relativas a sistemas de aquecimento e arrefecimento em edifícios para projetos e dimensionamento de sistemas com bomba de calor a que tem se podem agregar sistemas de aquecimento solar. Estes sistemas integrados de aquecimento e arrefecimentos são normalizados pela série **ISO 11855** que fornece diretrizes para determinar capacidade de aquecimento e arrefecimento, projetar, dimensionar e instalar sistemas integrados de aquecimento e arrefecimento. Os sistemas integrados abordados são à base de fluxo de água, aplicáveis a edifícios residenciais, comerciais e industriais.

À semelhança do que foi exposto anteriormente, mas para residências individuais, também um conjunto de edifícios, um bairro, ou uma comunidade de energia podem ter sistemas de reutilização de água comuns permitindo assim partilhar custos e todos os benefícios adquiridos por estes sistemas.

Todas as cidades, bairros ou mesmo zonas remotas, têm as suas infraestruturas comunitárias que vão desde a irrigação de espaços verdes à iluminação pública usufruída por todos os cidadãos. A série **ISO 16075** e a **ISO 20419: 2018** normaliza a reutilização de águas residuais tratadas para irrigação, no âmbito de projeto, monitoramento e boas práticas.

Todas estas infraestruturas que não só tendo em vista a utilização de água, mas todas as outras interligadas com outras fontes de energia renovável, onde se inserem agora os postos de abastecimento de carros elétricos, por exemplo, pode ser otimizada a utilização de recursos através da Série **ISO 37150** para infraestruturas de comunidades inteligente.

A indústria com as suas utilizações intensivas de água e energia torna-se um ponto fulcral para a transição e mudança de paradigma. A **ISO 23044: 2020** fornece diretrizes para dessalinização de águas residuais industriais para reutilização. A **ISO 21939-1: 2019** permite calcular o consumo de energia do tratamento dessas mesmas águas residuais industriais para a reutilização. E a Série **ISO 22447** para recuperação de águas industriais para arrefecimento.

O desenvolvimento de uma comunidade deve ser feito através de um sistema de gestão sustentável e a **ISO 37101:2016** permite contruir esse sistema de gestão coerente com a política da comunidade promovendo a inteligência e a resiliência. Para construir esta comunidade sustentável inteligente a **Série ISO 17741** permite calcular para uma região geográfica a sua eficiência energética e situando-a para a criação de uma política ambiental e organizacional. A **IEEE 2413-2019** ajuda a estruturar e a interligar tudo por meio da *IoT*, e também a ter sistemas de distribuição de energia cada vez mais inteligentes. Para construir esta comunidade ter os equipamentos todos conectados a um sistema geral pode ser feito através de um modelo de informação de rede inteligente fornecido pela **ISO 17800: 2017** de redes de sensores inteligentes e interfaces das redes, em que são fornecidas diretrizes na **ISO / IEC 30101: 2014**. Nas redes de uma comunidade inteligente, a série **ISO 16484** normaliza os sistemas de automação e controlo predial.

Na Figura 38 é possível visualizar as normas aplicadas ao cenário criado, em cada um dos blocos e a cada umas das redes.

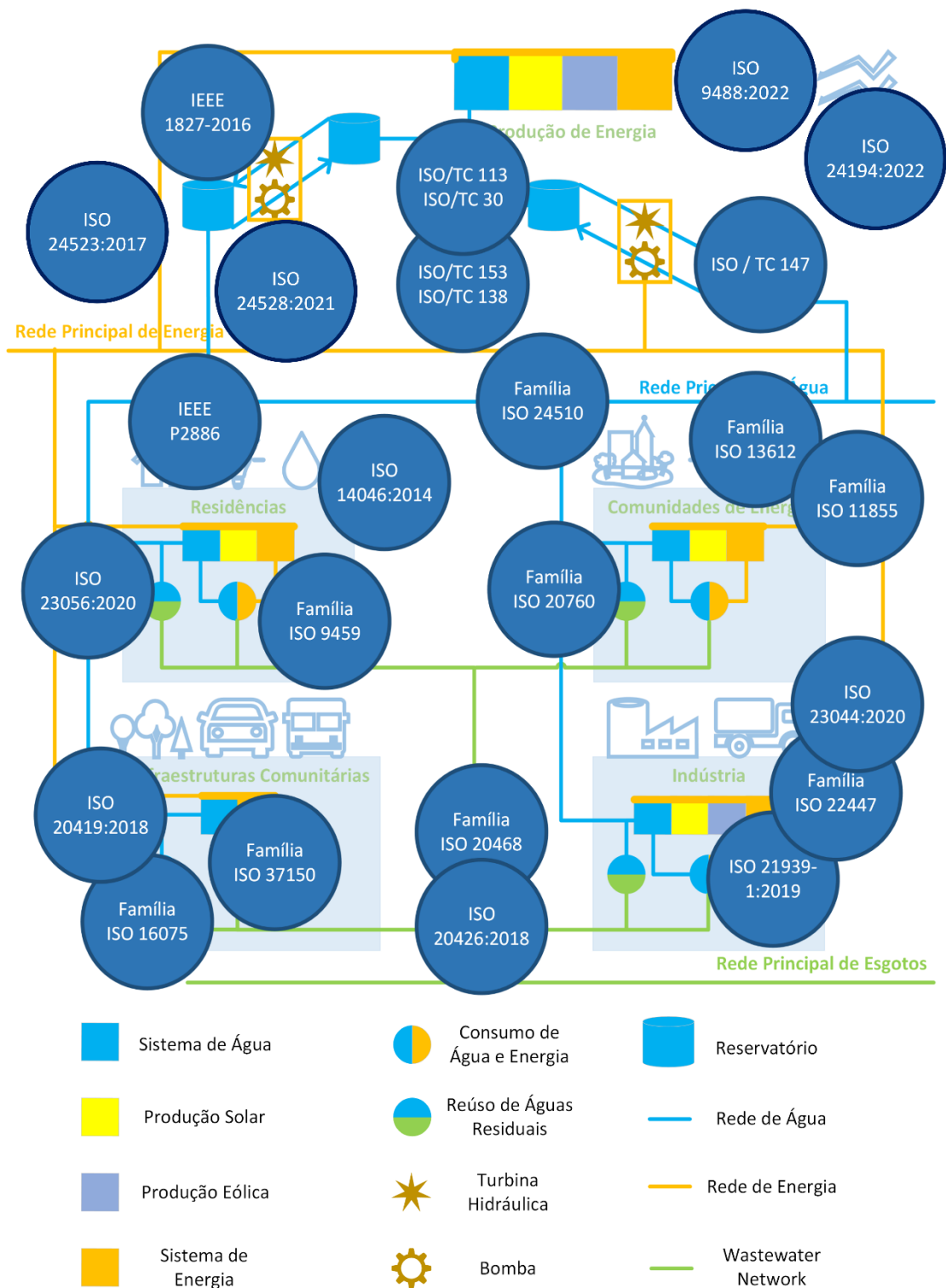


Figura 38 - Cenário com aplicação das normas ao Water Energy Nexus

Uma comunidade inteligente deve ter integrados sistemas de gestão de eficiência hídrica por meio da redução, substituição e reutilização da água. A **ISO 46001: 2019** especifica desde orientações de planeamento à fase de manutenção de um sistema de

gestão de eficiência hídrica, focado no consumidor final. Reduzir através da detecção de fugas de água ou de maus usos, substituir através da substituição de água potável por águas do mar ou águas das chuvas e, por fim, reutilizar, por exemplo, as águas cinzentas.

O objetivo da minimização da utilização de água e energia elétrica necessita de um controlo macro de todo o sistema de gestão de energia, tal é possível seguindo a Série **ISO 50001**, adquirindo assim todo o sistema um controlo único e de avaliação e melhoramento contínuo. Esta série conta com normas que permitem ainda medir e verificar desempenhos, manter e controlar indicadores dentro das linhas de consumo estabelecidas ou ainda especificar métodos de cálculo de economias de energia atingidas com a utilização destas normas.

Na Figura 39, as normas aplicadas ao Sistema de Gestão de Energia e seus componentes de comunicação.

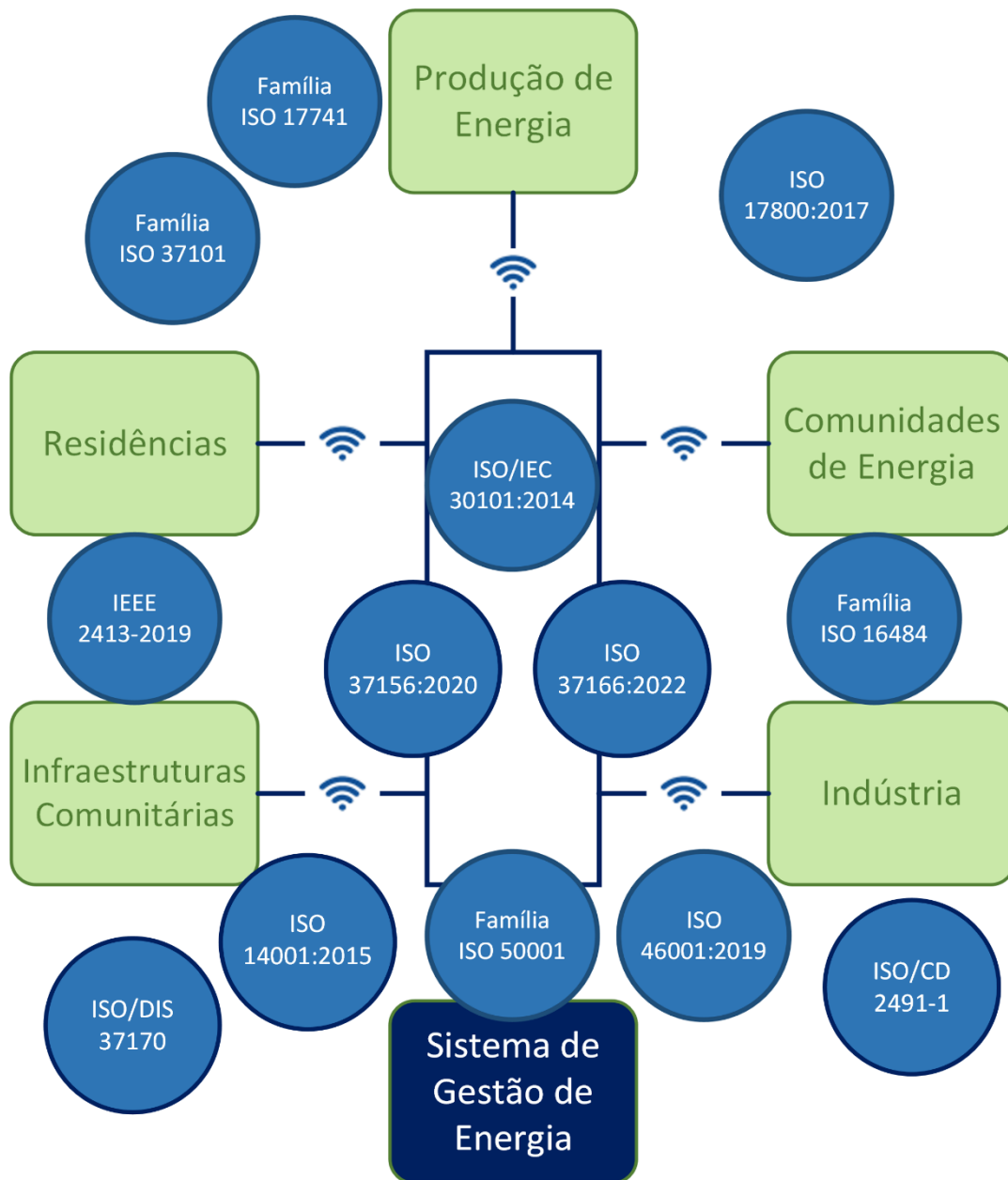


Figura 39 - Sistema de Gestão de Energia do Cenário com Aplicação das Normas

### 4.3. Revisão Crítica

Vários artigos de revisão do conceito *Water Energy Nexus* evidenciam diferentes abordagens que a comunidade científica tem adotado desde o início dos seus estudos. Estas diferentes abordagens dos problemas vão desde a extensão do WEN a outros elementos como a comida, o carbono, a terra e as emissões para a atmosfera; dos diferentes objetivos de estudo, quer seja do sentido da água para a energia, seja no sentido contrário, ou de uma perspectiva bidirecional; os métodos de análise como “*inputs*” e “*outputs*”, ciclo de vida, análise económica, otimização e modelação; as dimensões ambientais, económicas, sociais, políticas ou tecnológicas; a divisão entre produção, transporte e consumo; a divisão entre o planeamento e a gestão; a gestão que é de cariz político ou gestão do consumidor; os diferentes limites de estudos sejam eles de sistemas de energia e água ou de análise geográfica [114]–[118].

Esta revisão crítica relativamente à normalização do WEN, começa por alertar para a importância de estabelecer normas para que os estudos, a evolução científica, e não só, prossiga um caminho único. A normalização tem como objetivo uniformizar a comunicação e abordagem num meio e deverá também conseguir organizar o conceito, compartimentando as diversas temáticas que estão a ser alvo de estudo. Em [118], é abordada a necessidade de normalizar a questão da palavra “Nexus” devido à complexidade de interconexões que existem entre os vários elementos dos mesmos.

A norma que possibilite a uniformização do conceito poderá e deverá ter em conta, todas as normas que já têm aplicação direta no conceito. O vasto conjunto de normas existentes e abordadas anteriormente com as interligações certas, poderão ser um grande avanço no que diz respeito ao alcance de diretrizes comuns.

Esta revisão crítica tem como objetivo identificar as áreas do tema que estão normalizadas, detetar os pontos críticos e ainda fornecer uma visão sobre um possível caminho a seguir para a normalização do conceito. Nesta análise crítica as normas são organizadas e analisadas por função e não por bloco de operação como elaborado anteriormente.

### 4.3.1. Comunidades

Uma das grandes diferenças entre os estudos do conceito é relativamente aos limites impostos, quer sejam a nível urbano individual, ao nível de aglomeração urbana, nível nacional ou até nível internacional [115]. Para iniciar uma avaliação do meio em que se insere um estudo seria importante a normalização dos parâmetros a avaliar no WEN. No entanto já existem normas que permitem a avaliação e harmonização através de indicadores e pegadas. A **ISO 17741:2016** serve para cálculo de economia de energia em novos projetos ou reformulados [119] e a **ISO 17743:2016** para definir a metodologia baseada em dados, indicadores e fornece princípios de um relatório [120]. A **ISO 17742:2015** permite avaliar a eficiência energética baseada em indicadores para países, regiões e cidades [121], no entanto, esta não foi adotada por diversas razões pelos Estados Unidos da América, um dos maiores emissores de GEE no mundo [122].

A **ISO 14046:2014** fornece as bases para o cálculo da pegada hídrica para produtos, processos e organizações como parte de uma avaliação ambiental independente ou parte de uma avaliação mais abrangente [123]. Identifica a quantidade de água utilizada e os impactos ambientais relacionados incluindo as dimensões geográficas e temporais, permitindo identificar oportunidades de reduzir o impacto nos vários estágios, fornecendo informação para uma tomada de decisão que defina uma estratégia e prioridades a partir de informações confiáveis [124].

A evolução do conceito de pegada hídrica tem sido clara, após ter sido muito criticada a abordagem apenas pela quantidade de água utilizada ou pela quantidade de água poluída que resultaria do processo [125], [126]. Este conceito evoluiu para uma avaliação através do ciclo de vida, propondo uma perspetiva de impacto ambiental do consumo dessa mesma água descrito na **ISO 14046:2014**, sendo já refutado no modo em que deveria ser tido em consideração a escassez de água [127]. A agregação da energia na pegada da água já foi abordada em [128], demonstrando que associando a avaliação energética à hídrica, os impactos ambientais são ainda maiores.

É necessário normalizar uma pegada para o WEN, devendo-se caminhar para uma pegada hídrica e energética que permita a diferentes projetos ou organizações comparar-se entre si, não só relativamente ao uso de água, mas também ao impacto da energia utilizada nos recursos hídricos e vice-versa. À semelhança das normas apresentadas devem ser descritos princípios para realização de relatórios indicando os dados e indicadores que estes devem possuir.

A avaliação por pegadas tem o potencial de caminhar para os Objetivos Desenvolvimento Sustentável (ODS) [118], no entanto a normalização do contexto de “Nexus” como abordado anteriormente, é necessário para que não se proceda a uma comparação errada de dimensões diferentes e métodos ainda mais incompatíveis. Devem ainda ser definidas

metodologias que permitam definir uniformemente os limites dos estudos, para que esta divisão não seja uma desvantagem na possibilidade de comparação.

Hoje as cidades estão cada vez mais inteligentes e interligadas por meio da IoT, e as suas necessidades são crescentes. É necessária uma organização cada vez mais bem gerida e com informação instantaneamente disponível e centralizada. Existem já centenas de normas para esta temática e algumas delas estão diretamente relacionadas com o WEN. A norma **IEEE 2413-2019**, como anteriormente referido num subcapítulo anterior, fornece a descrição de uma estrutura de arquitetura para vários domínios de uma cidade inteligente como transporte, saúde, redes inteligentes, infraestruturas inteligentes, etc [129]. Dentro da **P2413.1** cabem as aplicações de cidades inteligentes como “gestão de água, gestão de resíduos, iluminação pública inteligente, estacionamento inteligente, monitoramento ambiental, comunidade inteligente, universidades inteligentes, edifícios inteligentes, *eHealth*, *eLearning*, *eGovernment*, etc”. Esta possui ainda normalização para o *Intelligent Operation Center (IOC)* que compila uma grande quantidade e variedade de informação e permite visualizar o “status” operacional dos vários domínios da cidade, permitindo a tomada de decisões com base no *Big Data* [130].

A **P2413.2** é direcionada para a arquitetura da Rede de Distribuição de Energia por via de IoT interligando os vários componentes da rede elétrica desde a produção ao consumo. Esta possui ainda um centro de operação próprio com a mesmas funções de controlo de “status” operacional e que gere as infraestruturas desta rede e permite agilizar a colaboração entre infraestruturas de recursos renováveis, veículos elétricos, edifícios, residências e organizações inteligentes [131].

Esta normas anteriormente descritas permitirão a transferência de instruções, informações e a gestão entre as diversas infraestruturas, edifícios, organizações e entidades governativas. Irá conferir às comunidades a autonomia e a aprendizagem que necessitam para atingir patamares elevados de automatização de processos. Muito caminho tem de se percorrer para atingir a gestão automatizada acompanhada da maior eficiência possível, mas esse caminho é através da interligação de tudo por via de IoT.

Para que as normas anteriormente referidas permitam a análise de diversos fatores nos diferentes domínios da cidade inteligente, uma vasta rede de sensores para aferir as características é necessária. A **ISO/IEC 30101:2014** serve para dar suporte às tecnologias implementadas desde a geração de energia, controlo e comunicação, armazenamento, eficiência, distribuição e outros desafios ambientais. Estas norma permite que os sensores recolham dados, transmitam, publiquem e garantam uma coordenação eficiente de todos os sensores de uma rede inteligente. Apenas com uma

rede de sensores coordenada e inteligente é possível a sincronização, monitorização e resposta, segurança e exibir interfaces gráficas da informação recolhida [132]. Esta norma tem em vista atingir a automação total de procedimentos de uma rede inteligente, sendo a gestão da rede de sensores, considerada, um dos pilares nas diversas fases de transição ao mesmo tempo que tem de integrar tecnologias de diversas gerações [133]. Algumas aplicações dos sensores e da rede inteligente são diretamente aplicáveis ao WEN como por exemplo a resposta ao consumo, relativamente aos diferentes consumos por horário ajudando as entidades a manter a fiabilidade das redes e permitindo gerir picos; infraestrutura de medição avançada permitindo comunicação bidirecional entre clientes e entidades de gestão; consciência situacional de área ampla permitindo ter um conhecimento geral melhor, concedendo às redes a possibilidade de retificar procedimentos de modo a evitar algum tipo de crise; gestão de energia doméstica que confere aos consumidores finais domésticos a possibilidade de gerir os seus próprios consumos; e armazenamento de energia, nomeadamente, sobre a forma de energia potencial hídrica [134].

Uma das grandes vantagens da utilização das normas anteriormente referidas, relativamente a estruturas de cidades inteligentes e redes de sensores, é a possibilidade de combater a intermitência das energias renováveis. No paragrafo anterior foi referida a possibilidade de armazenamento de energia, sendo que, esta pode ser armazenada como no Parque Alexandre Aibéo, através do armazenamento de água em reservatórios com cota mais alta e turbinar água em horas de maior consumo. Isto só é possível devido as redes inteligentes e redes de sensores que conferem à rede a possibilidade de inteligência, pela disponibilidade e reencaminhamento de informações, gerindo consumos e respostas. Mais à frente neste documento são abordadas outras questões como a transmissão de dados entre os vários tipos de estruturas.

Além da interconectividade por meio de IoT, as cidades inteligentes e sustentáveis necessitam de uma gestão coerente com as necessidades dos utilizadores e com a política de desenvolvimento e a **ISO 37101: 2016** permite essa gestão estrutural e organizada. Estas diretrizes para um sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável permitem gerir a sustentabilidade, fomentar a inteligência e resiliência, cumprir obrigações e avaliar o desempenho no progresso de cumprimento com a política e legislação existente. Esta norma implementa a gestão através de estratégias, programas, projetos, planos e serviços e demonstrar e comunica os objetivos alcançados. Esta ainda é aplicável a todo o tipo de comunidades desde o tamanho ao tipo de estrutura indicando o que uma cidade deve integrar para ser inteligente [135].

#### **4.3.2. Produção de energia, integração de fontes renováveis e sistemas de distribuição de água e energia**

Perspetiva-se uma crescente contribuição das energias renováveis para a produção de energia substituindo os combustíveis fósseis. A energia solar devido à sua disponibilidade em todo o mundo perspetiva-se que seja a grande contribuidora para o aumento do contributo das energias renováveis no consumo final bruto de energia [136]. Ao analisar as tecnologias das energias renováveis, a energia solar representa 60% do crescimento da produção de eletricidade a partir de fontes de energia renovável, em 2019 [137]. Esta será uma das razões pela qual a ISO já possui normas que permitem a utilização de energia solar para aquecimento e refrigeração de ambientes e águas, aquecimento e refrigeração de processos industriais com normas desde a instrumentação aos procedimentos para medição harmonizada de energia solar e medição solar. A **ISO 9488:2022** recentemente atualizada representa a importância e a crescente inovação dentro deste campo, e que normalizou agora o vocabulário nesta temática. E a **ISO 24194:2022** vem fornecer diretrizes para um mercado muito vasto, para verificação de desempenho de coletores solares térmicos. Analisando o **ISO/TC 180**, rapidamente é possível perceber que a maior preocupação na normalização incide nos materiais, métodos e medições.

Já a **IEEE 1827:2016** fornece orientação para projetos hidroelétricos desde o projeto, monitorização, controlo, proteção e operações deste tipo de instalações. As orientações incluem instrumentação para sistemas de transporte de água e as próprias condutas [138].

Diversas publicações recentes, [136], [139]–[143], alertam para a **integração de fontes renováveis** como forma de responder às crises energéticas, discrepâncias entre consumo e produção de energia e ainda as variabilidades espaciais e temporais das energias renováveis. A complementaridade pode ser através de duas ou mais fontes, como por exemplo solar-hídrica, hídrica-eólica, solar-hídrica-eólica, etc. Além da associação de fontes renováveis podem ainda estar associadas outras técnicas de armazenamento [144], [145] e outros fatores como as métricas para avaliar a integração de diversas fontes, integrando as previsões e incertezas conhecidas. Como em [146], que simula o modo em que as energias integradas conseguem combater as imprevisibilidades e os desvios de frequências nos sistemas elétricos e devido a grandes flutuações da potência ativa existe o risco de interrupção dos recursos. Já existe regulamentação técnica que permite conferir segurança à ligação das fontes renováveis à rede elétrica, mas não existe harmonização global para quais destes requisitos devem globalmente ser tidos em conta [140]. Os desafios podem ser categorizados em qualidade, fluxo,

estabilidade e equilíbrio, sendo que diferentes soluções podem solucionar diferentes desafios. É exemplo disto que as tecnologias descentralizadas permitam solucionar desafios de fluxo de energia e as soluções centralizadas enfrentar desafios de estabilidade da rede [141]. Em [139] é definida a complementaridade como podendo ser espacial, temporal e espaço-temporal. Ainda nessa publicação é referida a impossibilidade de comparação direta entre diferentes casos de estudo devido às diferentes métricas e índices utilizados na integração de FER, e alerta ainda, para que a melhor complementaridade nem sempre tem relação direta com o menor custo. Em revisão dos requisitos para a integração de FER, as atuais regulações e normas são insuficientemente claras e a normalização internacional destes requisitos, a par da necessária investigação da comunidade, permitirão aos fabricantes desenvolver equipamentos universalmente integráveis uns com os outros.

A integração de energias renováveis em projetos requer a análise de inúmeros parâmetros que permitem tomar decisões nas tecnologias que melhor se adequam ao local e as condições de produção e consumo. Dentro destes parâmetros estão os financeiros como: custo anual do sistema ou período de retorno; dos parâmetros técnicos: probabilidade de perda de carga, penetração de energia renovável ou limite de armazenamento de baterias; de parâmetros ambientais: emissão de gases de efeito estufa e emissões de carbono; relativamente a parâmetros sociais: como as oportunidades de emprego ou índice de desenvolvimento humano; parâmetros do *layout*; as diversas tecnologias de armazenamento com as características como: sistemas de hidrogénio, sistemas de baterias e sistemas de armazenamento hidroelétrico [147].

No entanto, já há diversos padrões de comunicação para a integração de FER e inseri-las na rede de distribuição de energia. Dentro destas normas estão as da IEEE: A **IEEE 1547-2018** sendo a norma para “Interconexão e Interoperabilidade de Recursos de Energia Distribuída com Interfaces Associadas de Sistemas Elétricos de Potência”; **IEEE 1459-2010** para “Definições para medição de quantidades de energia elétrica sob condições sinusoidais, não sinusoidais, equilibradas e desequilibradas, fornecendo definições para diferentes cenários e quantificar energia em novos dispositivos; **IEEE 1564-2014** para “Índices de Queda de Tensão” que ajuda na perceção e avaliação da gravidade destes acontecimentos. Relativamente às normas da IEC: A **IEC 61400-25-2:2015** para “Comunicação para Monitorização e Controlo de Modelos de Informação para Energia Eólica”; a **IEC 62052-11:2003**, com atualizações regulares ao longos dos anos, para “Requisitos Gerais para Equipamentos de Medição de Eletricidade”. Na União Europeia: O **Regulamento 2016/631** “estabelece um código de rede para conexão de

elementos à rede de geradores”; a **CLC/TS 50549** que normaliza “Requisitos para conectar a produção em paralelo com a distribuição; e por último a **EVS 50438:2013** fornece “Requisitos para instalações de microgeração conectadas em paralelo com rede publicas de distribuição de baixa tensão” [148].

Nas várias regiões do mundo têm sido desenvolvidas normas que permitam a integração de energia renováveis, mas devido às diferentes estruturas de redes elétricas estas normas acabam por se diferenciar em muitos aspetos, no entanto, alguns destes aspetos presentes nestas normas são comuns. Dentro do foco comum destas normas estão o controlo de potência ativa e potência reativa, controlo de tensão, capacidade de resolução de falhas, bem como capacidade de suportar altas tensões e desvios de frequências que conferem qualidade à energia [149].

Em suma, relativamente produção de energia, existem já muitas normas técnicas de conferem segurança à integração de fontes renováveis à rede elétrica, no entanto estas normas variam conforme a localização devido às diferentes estruturas da rede elétrica. Muitas destas normas estão direcionadas para a energia solar e energia eólica e seria importante que a água fosse tida realmente em conta nestas orientações, não só pelos projetos hidroelétricos, mas também na adoção de sistemas de armazenamento de água associados. Esta tem de ser uma opção a ter em conta pelas entidades governativas devido à possibilidade de redução de GEE em detrimento de outras fontes. No entanto, existem focos em comum já abordados que devem ser a base para a normalização internacional de modo que fabricantes produzam equipamentos possíveis de integrar em qualquer parte do mundo. Ao nível da gestão é necessário também normalizar as métricas para possível comparação de diferentes projetos de integração, mas também normalizar critérios que permitam o apoio à decisão nas diferentes fases do projeto e os requisitos para a integração de FER.

A **ISO/TC 224** já possui diversas normas para sistemas e serviços de água potável, residual e pluvial. Além das normas para gestão dos sistemas e serviços, tem normas diretamente aplicáveis ao WEN. Entre elas destacam-se a **ISO 24528:2021** com diretrizes para investigação de perdas de água nas redes de distribuição. Esta norma tem como objetivo que as entidades gestoras de água economizem água, energia e protejam o meio ambiente. Fornece metodologias para estimar componentes de perdas de água através do balanço hídrico e ajuda na preparação de um plano de gestão e redução destas perdas. A norma ainda aborda temas como a seleção de indicadores para perdas de água, determina custos de perdas. Esta tem ainda anexos interessantes às entidades gestoras de água como o nível económico de perdas, áreas de monitorização, tecnologias para

deteção e localização, e alguns relacionados com a pressão nas redes de distribuição [150], temas também abordados neste documento. No entanto, é urgente associar os gastos energéticos em cada etapa do ciclo urbano da água. As entidades gestoras de água necessitam de ser alertadas para as perdas de energia associadas a cada m<sup>3</sup> de água desperdiçado. Mas esta sensibilização só pode ser obtida através de normalização que forneça metodologias para os cálculos de indicadores que também permitam as entidades governativas e gestoras alinhar metas e objetivos para o WEN. Estes indicadores e metodologias devem ser incluídos em normas como **ISO 24523:2017** [151], que fornecem diretrizes para *benchmarking* de serviços públicos de água.

### **4.3.3. Infraestruturas**

As infraestruturas hoje em dia são um grande consumidor de água e energia, sejam elas residências, de serviços ou mesmo infraestruturas comunitárias. Parte das soluções hoje em dia são projetadas para estas infraestruturas para melhorar a sua eficiência e reduzir os seus consumos. A **ISO 37150:2014** revê as atividades e métricas que já são praticadas relativamente às infraestruturas comunitárias inteligentes incluindo as de água e energia, permitindo combater os impactos negativos que estas possam causar devido ao aumento das exigências dos consumos [152]. As infraestruturas têm de ter em consideração o impacto ambiental, a eficiência e qualidade de vida tendo em vista as energias renováveis como parte integrante de uma gestão otimizada de recursos.

Um bom exemplo é a utilização de contadores inteligentes nas redes elétricas de modo a permitir analisar e compreender os comportamentos dos níveis de consumo e gerir melhor a produção de recursos [153]. As restantes normas da série relativas às infraestruturas de comunidade já abrangem princípios de medição, indicadores de desempenho, planeamento e avaliação para desempenho técnico de processos.

Infraestruturas como o aproveitamento geotérmico nas Termas de Fonte Santa no município de Almeida, já descrito neste documento, podem implementar a **ISO 37160:2020**. Apesar desta norma servir para entidades gestoras da rede elétrica, aproveitamentos geotérmicos também deste tipo também podem avaliar o seu processo de modo que seja possível melhorar a sua operação. Sendo a **ISO 37166:2022** boa ajuda para integração destes dados numa estrutura de cidade inteligente.

### **4.3.4. Dados**

A **ISO 17800:2017** estabelece uma base de comunicação em residências e qualquer outro tipo de edifícios, que permite aos consumidores descrever, gerir e comunicar os

consumo e previsões de energia elétrica. Esta normalização da comunicação inclui diversas ações e interações entre os intervenientes da rede elétrica como geração local, resposta à exigência, armazenamento elétrico, gerir picos de exigência, estimativa direta do uso de energia, monitorização de carga final, qualidade da energia, utilização de histórico de consumo de energia para previsões e controlo direto da carga [79].

Não são apenas os edifícios que necessitam de normalização relativamente à comunicação interna e com outros edifícios, mas as infraestruturas comunitárias inteligentes também têm produção, consumos ou utilização. A **ISO 37156:2020** fornece a estrutura de comunicação das infraestruturas da comunidade e fornece diretrizes que visam o desenvolvimento da comunidade promovendo a inteligência e resiliência [154].

A **ISO 37166:2022** é a norma que integra os dados urbanos das diversas infraestruturas de modo a apoiar o planeamento urbano de uma cidade inteligente. Esta norma envolve possíveis dados comuns entre infraestruturas por meios normalizados de integração e partilha de dados incluindo a segurança dos mesmos. Entre estas infraestruturas urbanas estão as de água, transporte, energia, drenagem e reutilização [155].

É importante o modo como se devem interligar normas. As normas acima referidas, nomeadamente a **ISO 17800:2017** e a **ISO 36156:2020**, que normalizam a troca de dados entre consumidores e infraestruturas comunitárias, respetivamente, devem integrar dados a partir de um centro operacional. A **ISO/IEC 30182:2017** permitirá ser esta ponte para interligar os sistemas, para a interoperabilidade dos dados dos diversos sistemas [156]. A gestão destas cidades por via de IoT está presente na norma já apresentada, **IEEE 2413-2019**.

Está já em desenvolvimento a norma que permitirá fornecer à governança uma estrutura de dados normalizada, provenientes das infraestruturas da cidade inteligente, através da **ISO/DIS 37170** [157]. Esta norma irá permitir integrar a informação proveniente de vários sistemas de gestão, contribuindo para a tomada de decisão por parte de quem governa e agilizar progressivamente as dinâmicas de uma cidade inteligente [158]. No entanto é necessário também normalizar quais os dados que são necessários fornecer à governança para que esta estabeleça metas e políticas para o WEN.

Uma comunidade, só é possível ser inteligente, se tiver acesso a uma grande quantidade de dados e se tiver acesso a esses dados online. Permitirá à comunidade tomar decisões por si de modo a tornar todos os processos que coordena mais eficientes. Os dados devem ser desde produção ao consumo de recursos e o sistema capaz de prever também esses mesmos dados periodicamente. Além deste tipo de dados operacionais que permitem conferir às infraestruturas inteligência artificial, existem dados que geralmente se

encontram em diversos relatórios e dispersos por diversas entidades. É urgente normalizar os dados para o WEN, de maneira que quem toma decisões tenha acesso aos mesmos dados, na mesma periodicidade e nas mesmas unidades com os mesmos indicadores. Só assim se poderão estabelecer comparações de modo a implementar as melhores soluções. Seria vantajosa uma norma em que as organizações como agências e entidades gestoras elaborassem relatórios com dados específicos do WEN, que por sua vez iriam ser fornecidos à governança e permitir a elaboração de regulamentação adequada.

#### **4.3.5. Reutilização de águas residuais**

A reutilização de águas residuais é hoje um dos processos que permite tornar as cidades mais eficientes. Através da reutilização da água é possível reduzir a quantidade de água potável. A utilização de normas para reutilizar água que iria ser desperdiçada, é um dos grandes passos a dar para combater a escassez de água no futuro. A água residual é passível de ser utilizada em aplicações que não necessitem de água potável, mas também é possível a produção de energia a partir desta.

Dentro da utilização de água para outros usos está a reutilização para irrigação. A série de normas **ISO 16075** e a **ISO 20419: 2018** fornecem diretrizes para uso de águas residuais tratadas para irrigação desde a base de projeto à adaptação de sistemas existentes para esta prática [159]. Em Portugal seguiu-se as orientações de normas como estas para regular estas atividades de reutilização da água, e em [160] é abordado a evolução legislativa desta temática.

A reutilização em ambientes urbanos também é normalizada pela série **ISO 20760** e a **ISO 23056:2020**, para sistemas centralizados e descentralizados, respetivamente, abrangendo parte como a recuperação, armazenamento e distribuição [161].

Para avaliação e gestão de riscos para a saúde a partir do reuso de água a **ISO 20426:2018** fornece diretrizes, enquanto a série da **ISO 20468** permite a avaliação de desempenho de tecnologias de tratamento de águas residuais [162]. Em [160] é aplicada a **ISO 20426:2018** numa metodologia para reutilização de água para uma produção agrícola em Portugal, nomeadamente para irrigação de uma vinha, baseada na gestão do risco para a saúde de aproveitamento de águas residuais urbanas. Uma das suas principais conclusões são os benefícios da avaliação de cenários de exposição que permitem identificar situações mais críticas e controlar e monitorizar as barreiras ainda contribuindo para um desenvolvimento dinâmico da gestão dos riscos. Já em [163] é descrito como o projeto *Core Research for Evolutional Science and Technology* realizado no Japão e os seus bons resultados, nomeadamente de um processo de ultrafiltração mais radiação ultravioleta, permitiram ajudar a formular a **ISO**

**20426:2018** e outras normas de reuso de água como a **ISO 20468-1:2018** para avaliar o desempenho de tecnologias.

Uma das áreas em que a reutilização de água pode trazer mais benefícios melhorando significativamente a eficiência energética, é a reutilização de água industrial. As normas desta área incluem classificação dos tratamentos de águas residuais industriais, pré-tratamento e tratamento, gestão e desenvolvimento de efluentes indústrias e aspetos de tecnologia, economia, gestão e consumo de energia do reuso de águas industriais [164]. Dentro destas subáreas referidas anteriormente estão incluídas normas para refrigeração industriais, plano para projetos piloto e diretrizes para dessalinização [165]. Por fim, relativamente ao aproveitamento da energia associada à água, nomeadamente o aproveitamento de lamas provenientes dos processos das águas residuais, existem já duas normas publicadas e outras quatro em desenvolvimento. Estas normas permitem caracterizar, categorizar, preparar, tratar, reciclar e gerir lamas e outros produtos de sistemas de coleta de águas residuais urbanas, tratamento de água pluviais, estações de tratamento de água residuais urbanas e industriais e estações de tratamento [166].

Esta é talvez umas das áreas mais bem blindadas no que à normalização deste conceito diz respeito. Algumas das razões pelo qual acontece, é provavelmente ainda pouca reutilização de águas em todo o mundo, sendo a normalização um veículo de incentivo ao aumento destas práticas. Os riscos associados à reutilização desta água em atividades que podem ter impacto na vida dos seres humanos são também uma das razões para a existência de tantas normas que normalizam diversos processos diferentes. Como já visto anteriormente, as normas existentes vão desde projetos de reutilização, avaliação de riscos e desempenho, indústria e ao aproveitamento da água também para energia. Todas elas ainda podem ser conjugadas com as centenas de normas existentes para a qualidade da água.

#### **4.3.6. Sistema de Gestão de Água como sendo Energia**

Ao longo deste documento evidencia-se o sucessivo aumento do consumo de energia por diversas razões, e a perspetiva deste aumento continuar a acentuar-se mantém-se. A série **ISO 50001** pretende ser uma ferramenta estratégica para as organizações implementarem um sistema de gestão de energia, reduzir custos, usar este recurso de maneira mais eficiente e permitir uma fácil interpretação de resultados para a tomada de decisão [167].

A **ISO 50001**, à semelhança de outras normas como **ISO 9001** e **ISO 14001**, também se baseia num modelo de melhoria contínua, permitindo integrar o sistema de gestão de energia como o sistema de gestão da qualidade e ambiental. A implementação desta

norma permite desenvolver uma política de uso eficiente de energia tendo em vista as metas e objetivos definidos de acordo com a organização, medindo e revendo as políticas implementadas continuamente [168].

A **ISO 14001** foi usada, por muitas organizações no passado, para os mesmos efeitos que a **ISO 50001**, gerindo a energia. No entanto, esta nova norma exclusivamente dedicada à gestão de energia permitiu alargar o seu raio de atuação com a família de normas que se seguiu, fornecendo aos utilizadores mais ferramentas dedicadas aos diversos desafios do seu dia a dia. Sendo a **ISO 50001:2018** uma norma relativamente pequena, torna-se ao engenheiro apetecível a sua implementação sem excessiva burocracia [169]. Normas como a **ISO 50001** irão permitir combater um dos grandes desafios na implantação da normalização, reduzindo o distanciamento que ainda existe entre o utilizador e o poder político. Na medida em que, quanto mais práticas e de fácil implementação, mais apetecível será aos engenheiros a sua utilização [170].

Provavelmente ao olhar para os benefícios comparativos entre a substituição para fontes de energia renovável e a eficiência energética e hídrica, esses benefícios não são tão altos ao substituir práticas por meio da redução da utilização de recursos. No entanto, a eficiência hídrica e energética tem um impacto imediato enquanto geralmente a utilização de energias renováveis tem sempre um período de retorno sendo esses impactos adiados [171]. Dentro destes benefícios está a possibilidade de diminuir a utilização de kWh/m<sup>3</sup> de água, que permite às entidades gestoras de água diminuir ou impedir o aumento de preços. **A ISO 50001 deve ser incorporada na gestão de entidades gestoras de água, gerindo a água como sendo energia.** Ainda nesta vertente de água como energia podemos dividir em dois importantes parâmetros: A energia que se pode produzir com a água; e a energia que se ganha não se desperdiçando água. Estas duas vertentes devem ser abordadas pela normalização internacional. A gestão da energia incorporada nos serviços de abastecimento de água e em águas residuais é sem dúvida um grande potencial de melhoria de eficiência. No entanto, outro dos grandes potenciais para a eficiência, que está do lado dos consumidores e muito inexplorado, é a utilização de energia por parte dos utilizadores para aquecimento de água, que “é dramaticamente mais intenso do que a energia gasta do lado da produção e oferta”[171]. Esta é já uma questão aparentemente fora do escopo da normalização, mas se por parte das entidades gestoras certificadas existir ferramentas e mecanismos que permitam influenciar os consumidores, os resultados de eficiência energética na água serão ainda melhores. Pode ainda caber à normalização, a criação de moldes que permitam quantificar este extra de eficiência conseguido por parte do consumidor final.

A implementação da **ISO 50001** em entidades gestoras de água, estejam certificadas ou não, permite-lhes ter um conhecimento profundo dos seus processos e funcionamento interno, desde a possível produção a consumos energéticos. Sendo que, o próprio sistema de gestão de energia depende inteiramente da organização que o projeta para suprir as suas necessidades. Mas uma ISO que avaliasse a água como energia, permitiria às diversas organizações perceber como gerindo a água também consigam atingir as metas energéticas a que estão sujeitas.

Nesta análise crítica propõe-se que o ponto de partida para a normalização seja a série **ISO 50001** ou a criação de uma nova série dedicada ao WEN dentro do **ISO/TC 301**. A par da criação de novas normas para a cobertura de alguns desafios já identificados, algumas apenas necessitarão de revisões no sentido de inserir a água no sistema de gestão de energia e a inserir a energia no sistema de gestão da água.

A indicação da norma **ISO 50001:2018** e do **ISO/TC 301** é devido à necessidade que a água deve ser contabilizada como energia no sistema de gestão integrado. A criação duma série para normalização do WEN deve iniciar-se pela definição de conceitos e termos desde a produção, utilização, consumo, interligação e reutilização destes dois recursos. Assim como já abordado, a **ISO 50001** permite conhecer profundamente os processos da utilização de energia e deve-lhe ser inserida diretrizes e metodologias que permitam identificar a utilização de energia em cada processo da água. Estas diretrizes não se devem restringir aos processos das entidades gestoras de água, mas também para outro tipo de organizações com consumos significativos na comunidade e outros tipos de projetos como a produção em larga escala a partir da água. Devem servir organizações independentemente das dimensões, localizações, tipo de serviços ou complexidade à semelhança do que já acontece atualmente.

Nesta revisão crítica já foram abordadas inúmeras normas diretamente aplicáveis e outras que com algumas revisões podem servir este conceito. A normalização para o WEN deve ser capaz de interligar as normas anteriormente abordadas aproveitando os avanços já feitos na normalização internacional.

A necessidade de associar processos a custos hídricos e energéticos pode ser possível através da integração de normas como **ISO 50001:2018** e a **ISO 46001:2019** para sistemas de gestão de eficiência hídrica. A **ISO 46001:2019** pretende alcançar a eficiência hídrica por meio da abordagem de reduzir, substituir e reutilizar [172]. A integração destas normas deve ser capaz de quantificar a energia que é possível poupar

por meio de cada uma destas vertentes. A tomada de decisão tem de ser consciente do potencial da redução, substituição ou reutilização de recursos, mas estas normas têm de ser acompanhadas de metodologias que permitam quantificar estas poupanças.

Entretanto, está em desenvolvimento a **ISO/CD 24591-1** que vai abordar a gestão inteligente da água com diretrizes gerais e de governança. Terá de se aguardar para perceber a que desafios esta norma irá responder.

#### **4.3.7. Conclusões da Revisão Crítica**

A normalização tem um papel fundamental para que se possa avançar em determinada temática. A normalização permite que os intervenientes trabalhem de igual forma permitindo construir, comparar resultados e evoluir.

Nesta análise crítica são abordadas muitas normas que se podem relacionar entre si e a normalização do WEN pode e deve interligá-las. Na Figura 40, é representada a interconectividade de algumas das normas de gestão, comunicação e dados, no âmbito do WEN. O cenário criado anteriormente, Figura 36, para representar visualmente as normas, foi adaptado e é agora possível visualizar como as normas se relacionam entre si.

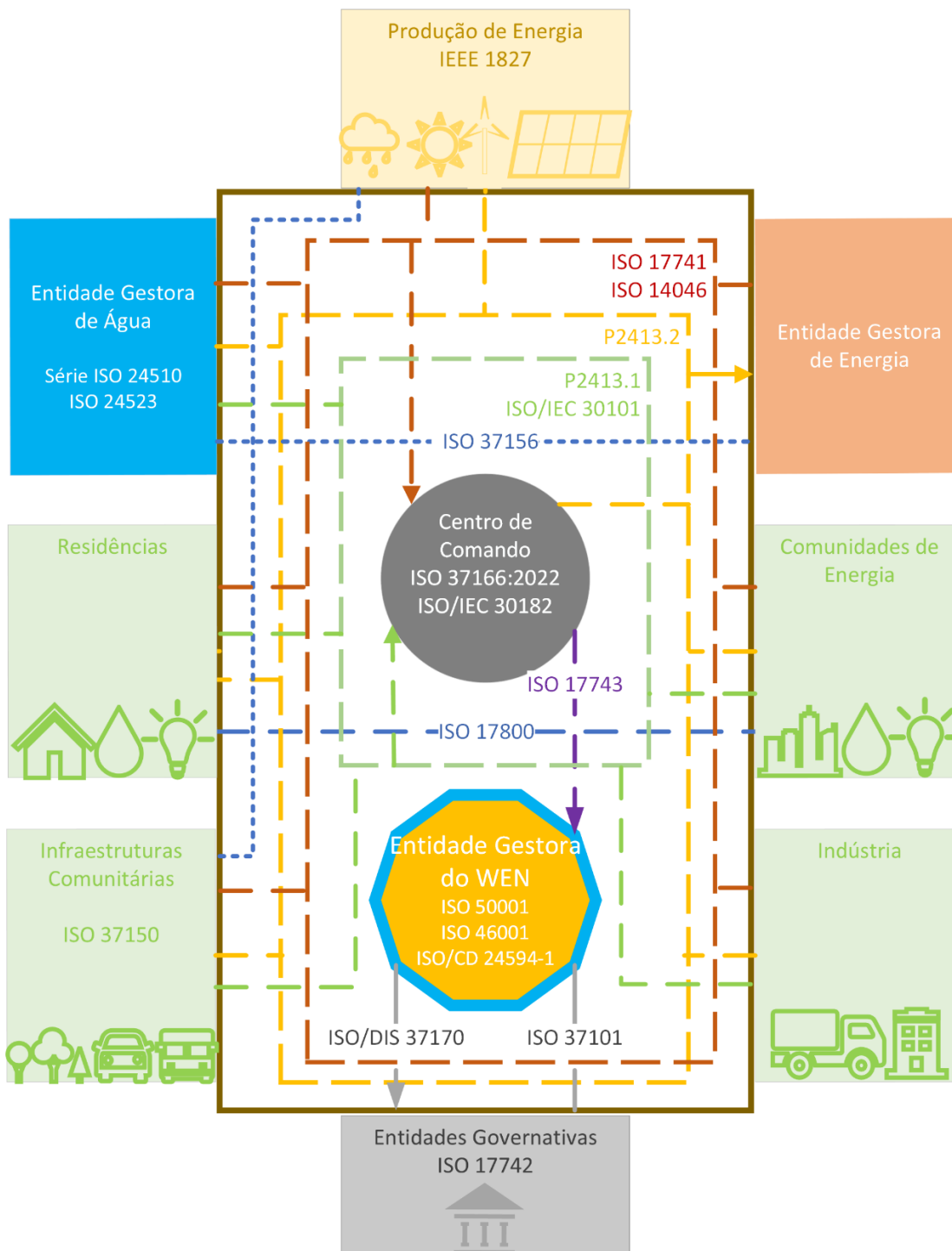


Figura 40 - Interconectividade das normas

No entanto, nesta análise crítica, referente à normalização do WEN, foram identificadas várias necessidades, ou porque a normalização ainda não cobre uma temática ou porque necessita que algumas revisões:

- Ao longo da revisão, muito se abordou a necessidade de comparar projetos ou organizações. Uma pegada para o WEN permitiria avançar no conceito retirando conclusões do que se vai fazendo por todo o mundo. A par disto é necessária uma

normalização que defina e compartimente estes projetos e ajude na definição dos seus limites para o seu estudo. Estas normas deverão distinguir sistemas centralizados e descentralizados e definir metodologias de avaliação para cada um deles, à semelhança do que já acontece nas águas residuais. Deverá ser possível avaliar o impacto da energia elétrica no abastecimento de água e também e vice-versa;

- Infraestruturas como as redes urbanas de água têm um grande potencial para armazenamento de água, logo armazenamento de energia, como o Parque Alexandre Aibéo. É necessário normalizar metodologias e diretrizes que permitam as entidades gestoras a avaliação dos melhores locais, tecnologias e outros parâmetros, para instalação destes pequenos complexos de produção de energia na rede. É também importante fazer com que as entidades de água e energia, que maioritariamente trabalham em separado, comecem a trabalhar em conjunto.
- No seguimento do ponto anterior, não existe também, normalização internacional para a integração de fontes de energia renovável, nomeadamente as de água com outras mais utilizadas. Existem muitas normas e regulamentos por todo o mundo, mas é necessário normalizar as métricas e requisitos de infraestruturas para avaliar a possível integração. A normalização da integração de energias renováveis permitirá conferir segurança às redes, gerir a intermitência e incerteza destas mesmas fontes.
- Recentemente foi criada uma norma para a avaliação de perdas de água, com diretrizes importantes do ponto de vista da gestão destas perdas. No entanto é preciso ir um pouco mais além disto. É preciso associar a energia gasta por volume de água. É necessário demonstrar as entidades o que podem poupar em água e em energia que é gasta na mesma. À semelhança do que se fez no capítulo desta dissertação com a Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia, mas de modo que sirva entidades em todo o mundo e até conseguir equiparar resultados e identificar opções de melhoria mais eficazes.
- Outra das questões que aparece nas várias partes desta revisão crítica é a tomada de decisão. Não só ao nível da escolha de equipamentos ou metodologias comuns, mas também na forma em que a informação chega a quem toma a decisão. Esta área é fulcral na temática porque é necessário filtrar a informação que chega a quem decide de modo que, a melhor decisão seja tomada seja qual for o cenário ou projeto. Além disto, é preciso organizar e fornecer esta informação de um modo que seja apelativo a quem governa tomar medidas e definir políticas para a eficiência destes recursos, mesmo quando necessários grandes investimentos;

No entanto já existem pontos abordados pelas normas:

- Atualmente uma das áreas que está bem blindada pelas normas é relativamente às cidades inteligentes por meio de IoT. A gestão das diversas infraestruturas, edifícios e organizações está bem definida. Essas normas permitirão às comunidades iniciar a aprendizagem e o caminho rumos a cidades completamente automatizadas e inteligente. Existe muita normalização para a gestão, comunicação e transferência de dados, no entanto estas deveriam ser integradas para o WEN. É necessário pensar uma estrutura rede de elétrica comum e em diretrizes que permitam conferir segurança através da integração de fontes renováveis.
- A Reutilização de águas Residuais é também um dos pontos com bastantes normas para diversos cenários. Provavelmente devido ao potencial da eficiência de recursos com esta temática. Estas estão diretamente afetas aos consumos do WEN, quer através da possibilidade de reutilização da água como da possibilidade de recuperar energia das lamas. Seria ainda interessante à normalização fornecer dados como estes à governança para estabelecer metas para áreas com tanto potencial nas reduções GEE.

Neste análise critica é ainda fornecido um caminho a seguir para iniciar a normalização do WEN. A **ISO 50001** e o comité técnico em que está inserida, devem ser o ponto de partida para as entidades começarem a olhar para a água como energia, inserindo-a no sistema de gestão de energia. A água pode gerar energia e também a pode poupar, mas é necessário criar uma política de e para o WEN.





## 5. Utilização de Energia nos Processos da Água

Neste último capítulo da dissertação é abordado o ciclo urbano da água e onde é gasta a energia nestes processos. As fugas de água são avaliadas como desperdício de energia e apresentadas várias metodologias e tecnologias para esta temática. É apresentada uma metodologia para localização exata de fugas de água através de um equipamento eletroacústico, e por último, apresentada e testada uma Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia, que demonstra o desperdício de energia inerente a uma rotura.

### 5.1. Processos da Água

Em Portugal, a gestão do ciclo urbano da água está entregue ao Grupo AdP, Águas de Portugal. Neste grupo está inserida a responsabilidade de todas as fases do processo da água, desde a sua captação até à coleta de águas residuais para diversos fins.

Estes processos apresentados de seguida, são os processos padrão que a água sofre nas suas diversas fases quando está sob a responsabilidade das Águas de Portugal [173].

Primeiro processo é a **Captação** de água, maioritariamente a nível nacional através de rios e albufeiras superficiais, mas também de lençóis de água subterrâneos.

Depois do primeiro passo, a água segue por **Adução** para a Estação de Tratamento de Água (ETA) e durante este transporte a água pode ter de ser elevada e/ou armazenada.

É na ETA que ocorre o **Tratamento da Água** através de processos físicos e químicos para que água tenha a qualidade necessária para o consumo humano.

Assim que a água bruta chega à ETA, é necessário fazer uma primeira limpeza removendo os resíduos sólidos de maiores dimensões como paus, pedras e folhagem, este processo denomina-se de **Gradagem**. Este processo além de fazer uma primeira filtração de substâncias de maiores dimensões e até mesmo microrganismos, permite que esses elementos não danifiquem os equipamentos da ETA.

Após a gradagem, a água passa por uma **Pré-oxidação** em que é adicionado um oxidante, como por exemplo ozono, para que todo o processo seguinte seja mais eficiente.

Logo a seguir a água sofre uma **Remineralização** em que são adicionados cal e dióxido de carbono de modo a corrigir o teor de cálcio e o pH da água, respetivamente.

A fase seguinte é a da **Coagulação/Floculação**, em que o principal objetivo é juntar em coágulos/flocos as partículas que tornam a água turva, através da ajuda do sulfato de alumínio e de diferentes velocidades de agitação da água.

A água passa então para um decantador onde os coágulos/flocos devido a sua maior densidade se depositam no fundo ocorrendo assim a **Decantação**. Consideram-se agora dois fluidos distintos, à superfície a água que vai prosseguir o tratamento e são removidos do fundo do decantador as denominadas de lamas, que seguem para tratamento especial e possam ser aproveitadas para outros fins. Com o mesmo intuito, mas com a inversão dos sentidos dos fluxos a remoção de lamas também pode ser feita através de Flotação em que através da injeção de bolhas de ar os coágulos/flocos ficam à superfície e são removidos por arrastamento.

A etapa seguinte é a **Filtração**, onde são removidos os flocos mais pequenos que não são possíveis de eliminar na etapa anterior, onde ainda outras partículas mais finas que possam encontrar-se em suspensão. O filtro é geralmente constituído por areia fina que pode ser também misturada com antracite.

A **Desinfecção**, é o último destes processos de tratamento da água em que através da adição de cloro ou outro composto semelhante são eliminados microrganismos patogénicos que podem ser prejudiciais à vida humana. A desinfecção pode ainda ser feita através de ozono ou radiação ultravioleta.

Durante todo o processo de tratamento de água são feitas milhares de análises para conferir a qualidade necessária. A água está agora preparada para ser distribuída e armazenada de forma a responder também nas quantidades necessárias. Através de complexas redes de tubagens e válvulas a água é distribuída com a pressão adequada para consumo.

Até ao consumo a água apenas percorreu metade do seu percurso. Após a sua utilização inicia-se a segunda metade do processo que é a recolha, tratamento e devolução à natureza das águas residuais proveniente dos mais variados tipos de consumo.

À semelhança do que acontece na ETA, na ETAR, Estação de Tratamento de Águas Residuais, o primeiro processo é a mesma **Gradagem** removendo os sólidos de maiores dimensões como papel higiênico, restos de comida, etc. Após a remoção dos sólidos maiores, na **Tamisagem** são removidos os sólidos de pequenas dimensões que ficam dentro do tamisador e são removidos quando as partículas são maiores que os orifícios do tambor.

De seguida o **Desarenamento**, irá remover as areias finas por sedimentação e a fase **Desengorduramento** permite retirar as gorduras que irão para a superfície com a ajuda de bolhas de ar e removidas com a ajuda de um sistema de raspagem.

Após estas etapas a água passa por um decantador para remoção de sólidos que ainda possam existir e assim esta fase denomina-se **Decantação Primária**.

Uma das etapas que não se restringe apenas a uma situação é a **Desodorização**. Nos vários processos podem ser libertados odores e estes são recolhidos ao longo dos processos da água.

Após a remoção da maior parte dos elementos sólidos, a água passa para o **Tratamento Biológico** em que é eliminada toda a matéria orgânica, nomeadamente a criada por nós e nela inserida. Dentro do reator são recriadas condições para que microrganismos se reproduzam e assim vão-se formando flocos. Quando estes já têm um tamanho considerável chegou a altura de água passar por uma **Decantação Secundária**.

Regra geral, a água no final deste processo encontra-se em condições de ser novamente devolvida ao meio ambiente e cerca de 93% da água inicialmente captada, é devolvida à natureza. Mas se o intuito da água residual foi o reaproveitamento para outros fins como a irrigação ou lavagens, poderá ser necessário fazer uma **Desinfecção** da água. No que diz respeito à água residual a desinfecção mais utilizada é a radiação ultravioleta.

Na Figura 41, é apresentado o esquema que resume os processos padrão da água em Portugal, desde que é captada até que é devolvida ao meio ambiente.

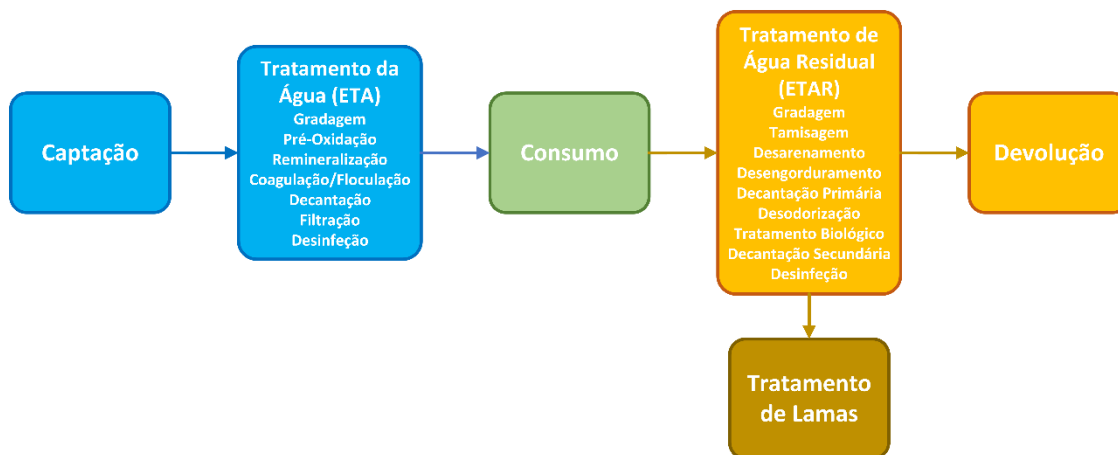


Figura 41 - Esquema resumo dos processos da água padrão em Portugal

Paralelamente a todo este processo, nomeadamente nas decantações, são geradas lamas que têm valor energético para diferentes utilizações, seja para combustível fóssil ou mesmo como fertilizante em meios agrícolas. O **Tratamento das Lamas** é feito consoante o seu destino.

## 5.2. Utilização e Desperdícios de Energia

Ainda é extremamente difícil caracterizar na globalidade a distribuição da utilização de energia por todo o processo da água, desde a sua captação à sua devolução ao ambiente, devido a heterogeneidade dos dados disponíveis das diferentes regiões do globo.

Esta grande diferença nos mapas circulares dos diferentes países, reside em fatores como os diferentes [33], [174]:

- perfis de fonte de captação de água;
- topografias;
- distâncias de transporte;
- tecnologias utilizadas;
- taxas de reutilização de águas residuais;
- fugas de água e outras ineficiências.

No entanto, já foi possível quantificar o uso médio da utilização de energia para os vários processos do setor da água por m<sup>3</sup>. A energia necessária para extração de água

subterrânea é superior à necessária para a água superficial e quanto ao tratamento dessas águas a relação é contrária. Nesses mesmos gastos de energia para tratamento das águas, estima-se que cerca de 80% seja para bombeamento [33].

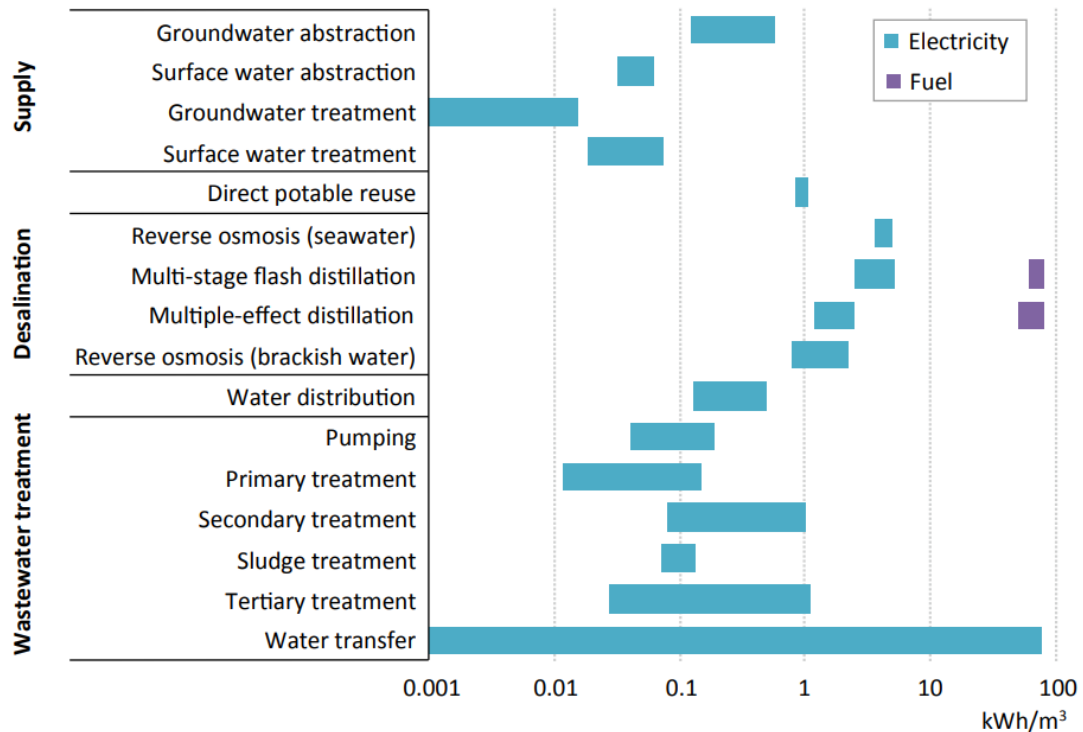


Figura 42 - Consumos típicos de energia nos processos do setor da água [33]

O processo de dessalinização é tipicamente o macroprocesso com processos que têm necessidades energéticas mais elevadas e, por essa razão, ainda têm uma pequena fatia, à exceção de alguns países no Médio Oriente e Norte de África [33].

A distribuição de água é um processo que está distribuído por todo o ciclo urbano e o bombeamento é responsável por grande parte deste consumo, bem como a reposição das condições ideais de caudal e pressão. Este processo além ser consumidor de energia também a **desperdiça através das perdas de águas** ou usos ilícitos. Nalguns países estas perdas ascendem quase aos 50% [33], quase metade da água que já foi submetida a uso de energia é desperdiçada.

O tratamento de águas residuais apesar de representar um gasto inferior ao da dessalinização na utilização de energia por m<sup>3</sup>, Figura 42, consegue reter a maior fatia no setor da água dos países mais desenvolvidos. Os consumos típicos de energia numa ETAR, Figura 43, podem ainda ser sofrer alterações consoante [33]:

- quantidade de água residuais recolhidas e tratadas;

- nível de infiltração de água pluviais, ou outras, no sistema;
- nível de contaminação e tratamento necessário;
- eficiência energética dos processos.

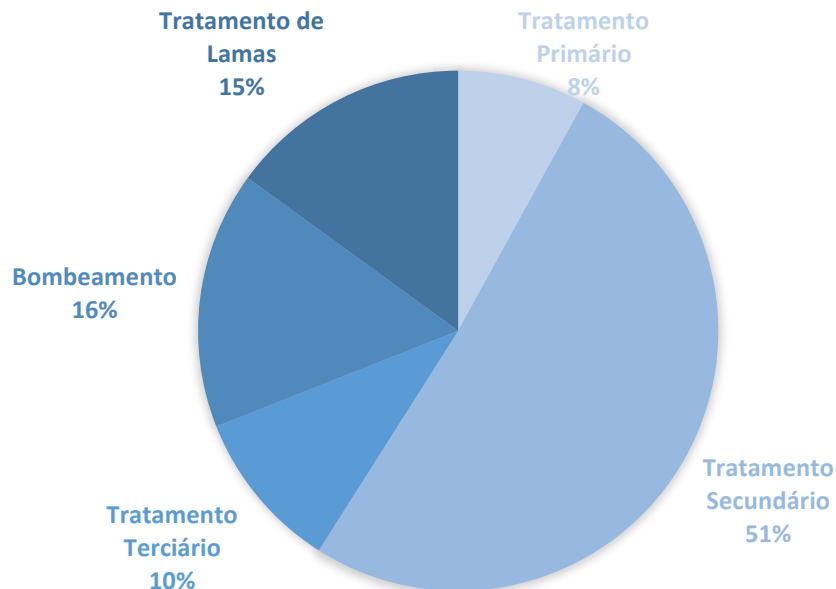


Figura 43 - Consumos típicos de energia numa ETAR [33]

Geralmente é feita uma distinção das águas para reutilização potável ou não potável. Conforme as necessidades impostas por regulamentos a água reutilizada para se tornar potável consome muito mais energia do que aquela que é considerada não potável. Esta última pode ser utilizada em diferentes consumos, e de grande utilização em quantidade, como a irrigação. Esta modalidade de obtenção de água pode ser muito mais vantajosa do que mesmo a dessalinização, como observável anteriormente, Figura 42.

### 5.2.1. Portugal

Em Portugal, tal como em todo o mundo, o consumo de energia tem vindo a aumentar no setor das águas, representando atualmente mais de 2% do consumo total de energia elétrica, associado à emissão de mais de 470 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. Em 5 anos, de 2011 a 2015, o consumo de energia variou de 925 GWh a 1016 GWh, Figura 44. Este aumento de consumo refere-se ao aumento tanto nos consumos de abastecimento de água como nos consumos relativamente ao saneamento de águas residuais. Em Portugal estes consumos são repartidos em 62% no consumo para o subsector do abastecimento de água e 38% no consumo para o subsector do saneamento das águas residuais, Figura 45.

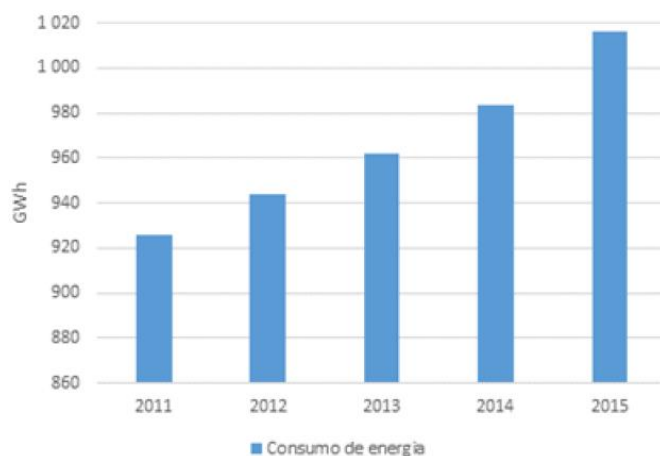


Figura 44 - Consumo de Energia no setor das águas em Portugal Continental [174]

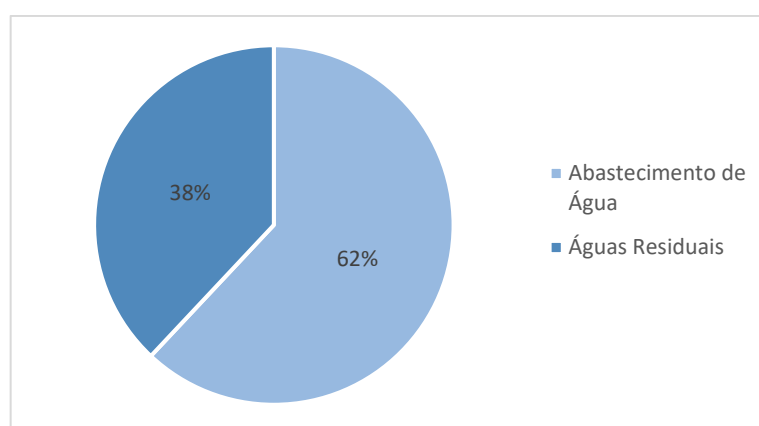


Figura 45 - Repartição do consumo de energia no setor das águas em Portugal Continental [174]

Relativamente ao primeiro setor, do abastecimento de água assistiu-se a um aumento de 591 GWh a 634 GWh, Figura 46, no mesmo período anteriormente referido, e no setor do saneamento de águas residuais de 334 GWh a 382 GWh, Figura 47. A energia despendida para bombeamento está incluída nestes valores representando uma grande parte da energia total no setor do abastecimento de água e uma parte substancialmente menor no setor de saneamento de águas residuais. Não existindo dados concretos relativamente ao tratamento de água e de água residual estima-se que estes valores sejam próximos da diferença entre o consumo total de energia e consumo de energia para bombeamento.

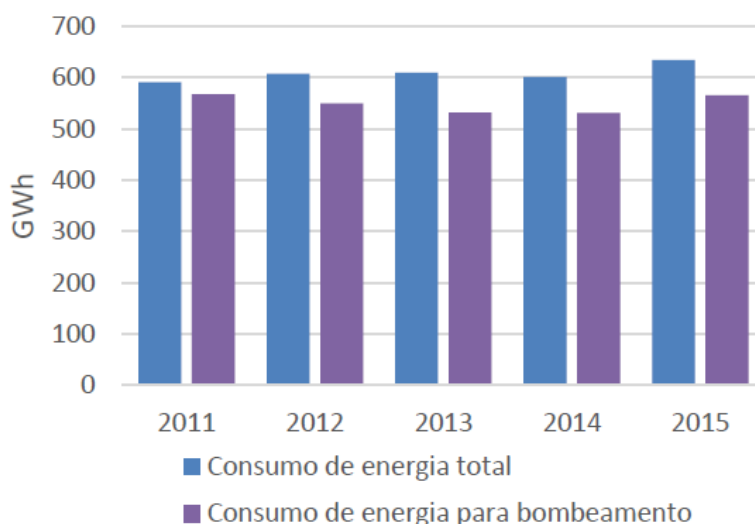


Figura 46 - Consumo de energia no subsetor do Abastecimento de Água [174]

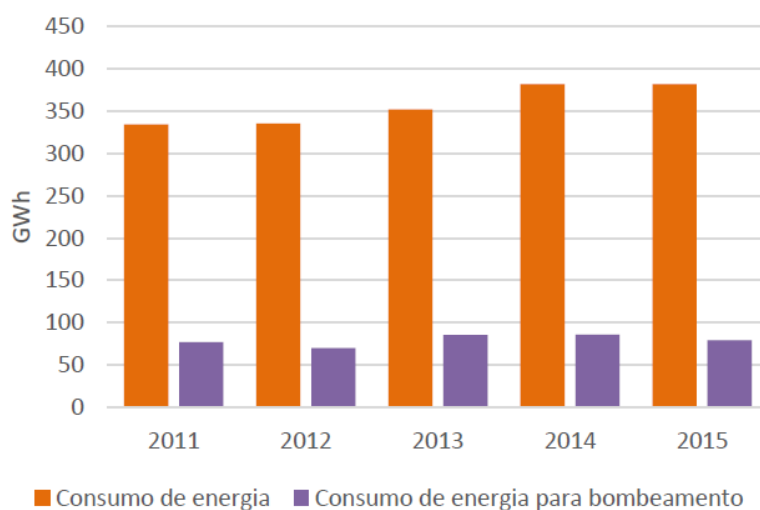


Figura 47 - Consumo de energia no subsetor do Saneamento de Águas Residuais [174]

A International Energy Agency (IEA) para combater o uso excessivo de energia, inerente ao aumento do consumo de água com o crescimento da população mundial, propõe que se adotem 5 abordagens diferentes [33]:

- Integrar a formulação de políticas de água e energia;

Primeiramente, identificar todas as necessidades de água para energia e vice-versa de modo a garantir a viabilidade de políticas e projetos não afetando outros setores. É necessário ainda um extenso banco de dados e o mais completo possível. Se este não existir deve-se caminhar nesse sentido para que se possa avaliar os custos e benefícios das possíveis alterações da regulamentação.

- Localizar infraestruturas de água e energia;

Identificar e localizar infraestruturas e os diversos consumidores permite a integração das carteiras de clientes das diferentes entidades, reduzir os custos com subprodutos e

custos de transporte. Conhecer as localizações de ambas as infraestruturas também permitem estudar projetos de armazenamento de água como energia, à semelhança do que aconteceu no Parque Alexandre Aibéo.

- Utilizar energia proveniente de águas residuais;

A água residual contém uma grande quantidade de energia incorporada. A coleta de águas residuais pode ser associada a outros processos para a conversão de resíduos em energia, como as lamas. Inserir projetos como estes em programas de energias renováveis irá permitir ampliar a sua utilização, a par de incentivos fiscais e regulamentação própria.

- Usar fontes alternativas de água para energia;

A disponibilidade de água doce será cada vez mais um critério de análise em projetos e por isso devem ser estudadas a utilização de outras fontes de água. Existem inúmeras situações em que a água utilizada não necessita de cumprir os parâmetros de qualidade para beber, pois servem por exemplo para arrefecimentos de usinas ou irrigação. Conforme a função, devem ser aferidas as necessidades energéticas de tratamento e de transporte. Geralmente quando é necessário bombeamento a avaliação energética acaba por ser negativa.

- Economizar água e energia;

Os processos da água bem otimizados permitem economizar até 13% da energia utilizada quando comparado com os processos padrão. Algumas ferramentas como auditorias e *benchmarking* são o início para a identificar onde estão as lacunas nos processos que utilizam água e energia. A partir destas é possível às entidades gestoras e aos órgãos governativos alterar legislação e regulamentos para ir de encontro com as metas estabelecidas. Dentro desta abordagem estão também todas as alternativas que reduzam os consumos sem prejuízo da finalidade, aumentando a eficiência.

### **5.3. Fugas de Água**

Quantidades significativas de água são perdidas através de fugas e outros usos ilícitos ou não faturados, e em alguns países estas perdas chegam quase aos 50%, como já anteriormente referido.

Estas perdas de água traduzem-se também em desperdício da energia que já foi utilizada na água, ocorrendo tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. As perdas de água estimam-se em 12% nos Estados Unidos da América, 19% na China, 24% na União Europeia e 48% na Índia. As principais justificações para estes elevados níveis de ineficiência é o baixo nível de manutenção e ainda o envelhecimento das tubagens [33].

Os principais países que desperdiçam energia deste modo são os países em desenvolvimento na Ásia, com a Índia a representar mais de um quinto das perdas totais mundiais no abastecimento publico de água, Figura 48.

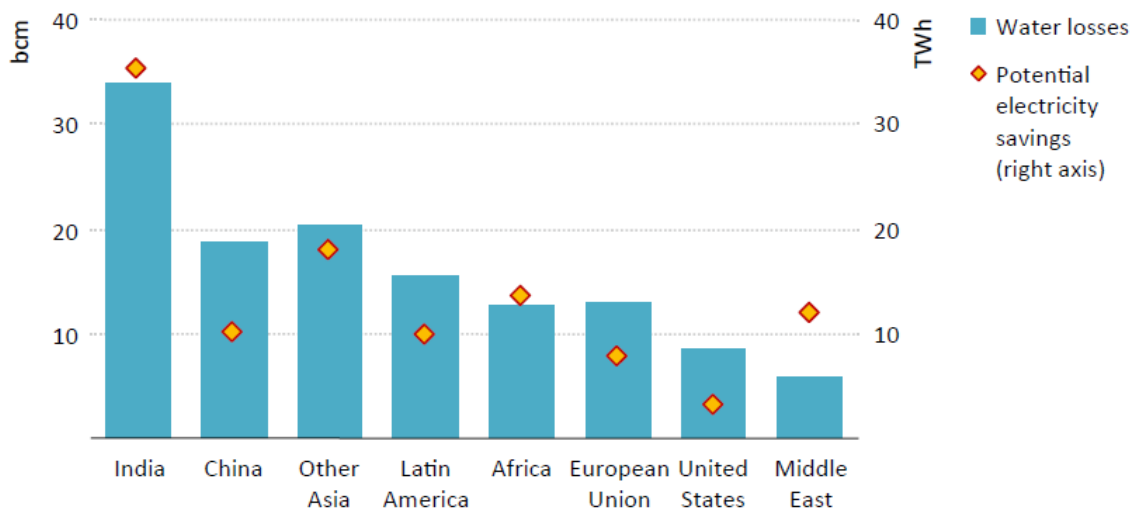


Figura 48 - Perdas de Água por Região, 2014 [33]

Nota: *Other Asia* – Outros países em desenvolvimento da Ásia

Em Portugal, registam-se perdas reais de água superiores a 20% e volumes de água não faturada superam os 30% da água captada. Estima-se ainda que cerca de 15 % do que implicam estes custos não sejam recuperáveis, devido às perdas hídricas [174].

Uma grande parte das fugas numa rede de distribuição não são facilmente detetadas pois não são evidenciadas na quebra da qualidade do serviço prestado às populações, por exemplo, na falta de pressão no abastecimento. Devido a esta problemática, é necessária uma posição pró-ativa na deteção de fugas de água com sistemas de análise e diagnóstico, se possível, permanentemente instalados, associados a técnicas de setorização e monitorização.

É importante ter presente que existe uma **distinção clara entre deteção e localização** da fuga, e são estes dois diferentes conceitos que é importante estarem conectados através de sistemas e técnicas referidas no paragrafo anterior.

A deteção de fugas de água para produzir melhores resultados deve incorporar 2 fases [34]:

1. Identificar zonas prioritárias;

Pode advir da deficiência do serviço prestado no abastecimento que resultam em queixas;

2. Identificar e quantificar os caudais perdidos versus a extensão de rede a analisar;

Permite estabelecer uma ordem de atuação, priorizando as roturas mais preocupantes.

A vigilância permanente através de um projeto de monitorização contínua da rede permite estar atento às subidas dos caudais mínimos de abastecimento da rede e evitar que as roturas existentes evoluam as suas dimensões acarretando maiores perdas e custos de reparação mais elevados.

Na interligação da deteção com a localização estão todos os sistemas informáticos que as entidades gestoras de abastecimento de água já possuem nas suas redes, maioritariamente em países desenvolvidos, que detetam rapidamente a existência de uma fuga e alertam imediatamente as equipas para avaliação da rotura e sua localização.

A fase de localização das fugas de água tem também duas subfases que devem ser agilizadas e equilibradas consoante o terreno e as infraestruturas existentes de modo a não existir desperdício de tempo ou meios [34]:

**1. Localização de Aproximação, com o objetivo de reduzir a zona a entrevir e podendo ser feita através:**

**1.1. Subdivisão interna de áreas, sem suspensão de abastecimento;**

Esta técnica é aplicada quando é identificado consumo excessivo e recorre à abertura de válvulas nas fronteiras da zona global em questão e ir fechando algumas válvulas internas obrigando a uma “transferência” de consumos dessas pequenas zonas para outras zonas globais. No fim do teste devem ser analisados e comparados os caudais dos diversos pontos e descobrir a zona mais crítica. Na Figura 49, é possível perceber melhor como se procede esta técnica. No fim deste procedimento deve ser perceptível a subzona que desperdiça mais água e energia. Pode ser ainda necessário recorrer a Teste de Pressão Zero.

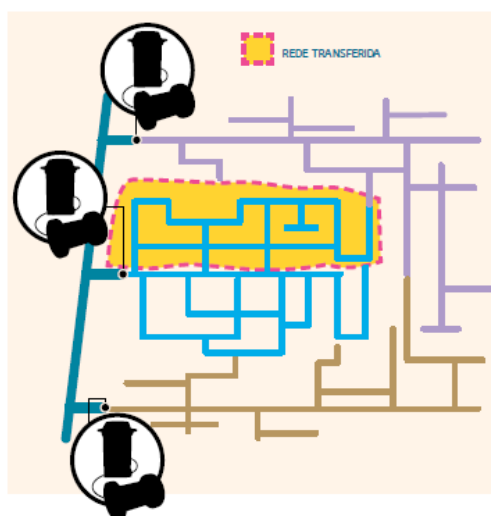


Figura 49 - Subdivisão interna de áreas, sem suspensão de abastecimento [34]

### 1.2. Teste de fecho sequencial com suspensão do abastecimento;

A base desta técnica para redução da área é por meio de fecho de válvulas internas e uma sequencial paragem de abastecimento. Na Figura 50, é possível observar um exemplo em que se geram zonas através do fecho sequencial de certas válvulas internas. Esta técnica além da paragem de serviço ainda necessita de Testes de Pressão Zero, implica um período de avisos prévios a todos os clientes, necessita de ocorrer em período noturnos onde os consumos são menores o que acarreta maior custos de pessoal, pode provocar roturas quando se pressurizam de novo as infraestruturas, e ainda estas alterações podem provocar perda da qualidade da água arrastando partículas de ferrugem por exemplo. Esta técnica necessita ainda de um grande planeamento em que numa primeira fase se define e caracteriza a área de teste de fecho sequencial, de seguida elaborar um plano e preparar a implementação do teste.

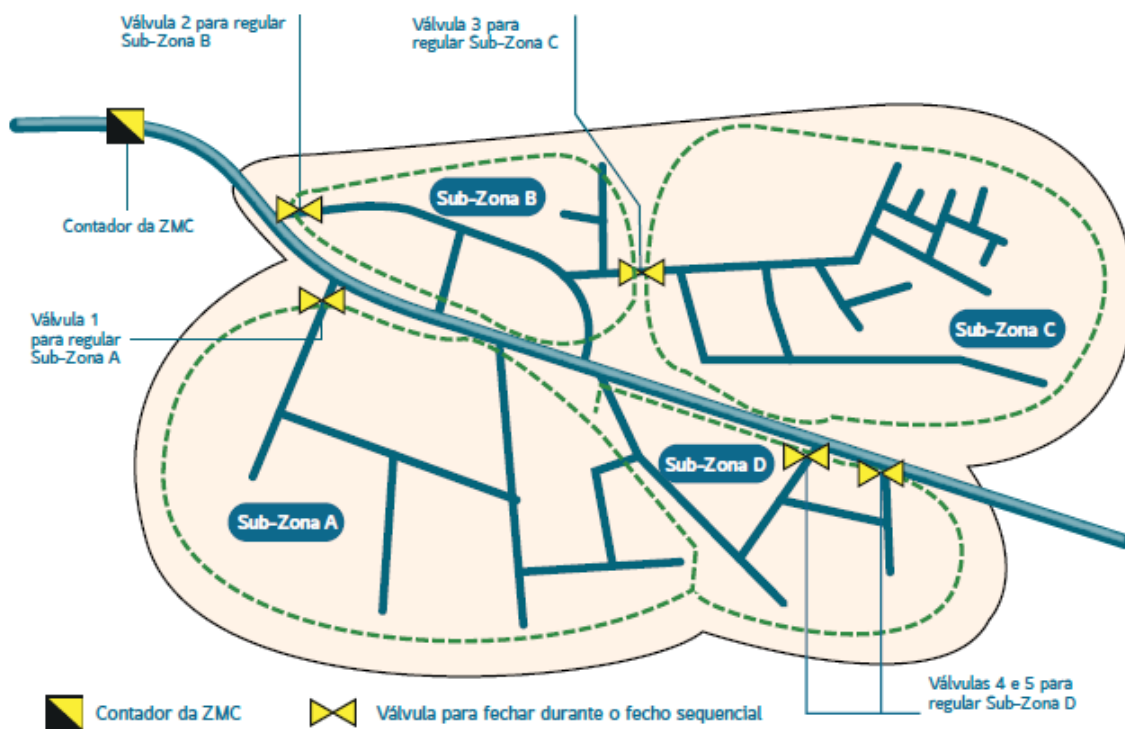


Figura 50 - Fecho sequencial, com suspensão de abastecimento [34]

### 1.3. Mapeamento das pressões em linhas de abastecimento;

Esta é também uma técnica aplicada quando se verifica um consumo excessivo. Para a redução da área são instalados equipamentos para monitorização da pressão de modo a comparar valores. Esta diferença está exemplificada na Figura 51, onde é possível visualizar a diferença antes e depois da fuga de água. Esta técnica é tanto mais fiável quanto maior forem os valores da velocidade do escoamento. Na comparação destes

valores é necessário ter atenção às variações de pressão devido às diversas cotas piezométricas.

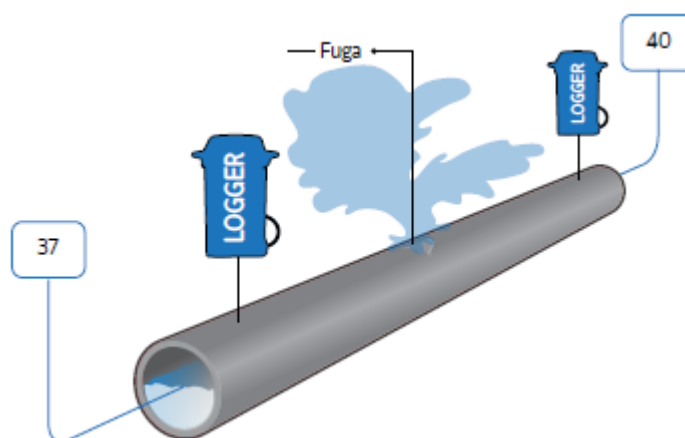


Figura 51 - Mapeamento das pressões em linhas de abastecimento [34]

Em suma, relativamente às técnicas de aproximação, estas devem ser escolhidas consoante o cenário, isto é, as características da rede, os equipamentos, meios disponíveis e ainda imposições legais e regulamentares. O teste de fecho sequencial deve ser apenas usado em último recurso porque interrompe o serviço e quando retomado pode apresentar deficiências.

## **2. Localização Exata, após a utilização de um dos métodos anteriormente descritos, ou se não existir essa possibilidade, executar um processo de varrimento global.**

A Localização Exata é abordada de modo mais aprofundado nos capítulos seguintes. Onde são revistos métodos e tecnologias e fornecida uma metodologia para uso de um equipamento eletroacústico adquirido pela ENERAREA.

### **5.3.1. Revisão de Tecnologias para Localização de Fugas de Água**

Existem atualmente inúmeras tecnologias para a localização de fugas de água, sem ser as tradicionais intrusivas ou destrutivas. Este é já um mercado vasto com várias soluções viáveis para os mais variadíssimos cenários e são apresentadas algumas de seguida, Figura 52.

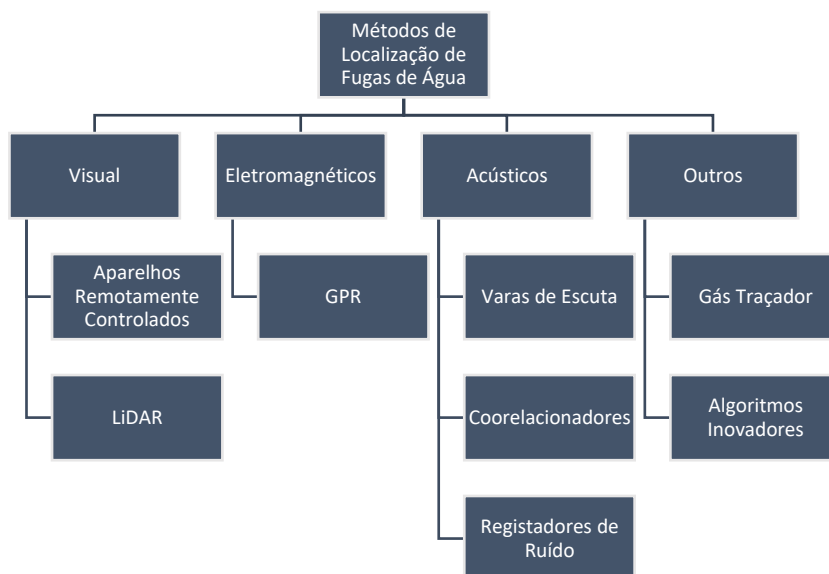


Figura 52 - Tecnologias para a Detecção de Fugas de Água

### 5.3.1.1. Métodos Visuais

Os métodos visuais são muito utilizados nas inspeções por terra, ar ou água. Inserem-se nestes métodos os aparelhos remotamente controlados que fazem análises e transmitem imagens em tempo real. No entanto, esta tecnologia não se destacou na deteção e localização de fugas de água pois é extremamente difícil o acesso dos vários equipamentos e seriam necessários vários quilómetros para que o equipamento detetasse uma fuga.

Outra tecnologia que pode ser associada aos aparelhos anteriormente referidos é o varrimento Laser – LiDAR. Esta tecnologia neste contexto irá recriar o “tubo digital” para posterior análise e caracterização do estado da tubagem. Embora possa ser utilizado em escuridão total, ao contrário dos robôs, a falha humana é muito provável o que inviabiliza muito a sua utilização.

### 5.3.1.2. Métodos Eletromagnéticos

Existem inúmeros métodos eletromagnéticos para a averiguação do estado das tubagens. Todos consistem na produção de campos magnéticos, correntes ou sinais e quando recebidos de novo são comparados com os emitidos e assim pode ser extraída uma conclusão em relação à tubagem.

O método que se distingue nesta família, é o Radar de Penetração no Solo (*GPR - Ground Penetrating Radar*), Figura 53. Este método utiliza antenas que emitem ondas eletromagnéticas na direção do solo. Os limites do subsolo produzem reflexões captadas por antena recetora. Posteriormente os dados são interpretados. O *GPR* pode conseguir detetar as fugas de água, ao detetar vazios subterrâneos criados pelas fugas ou ainda

detetando anomalias com a velocidade de propagação das ondas devido a alteração da saturação do solo. Esta tecnologia necessita de ser operada por pessoas altamente qualificadas.

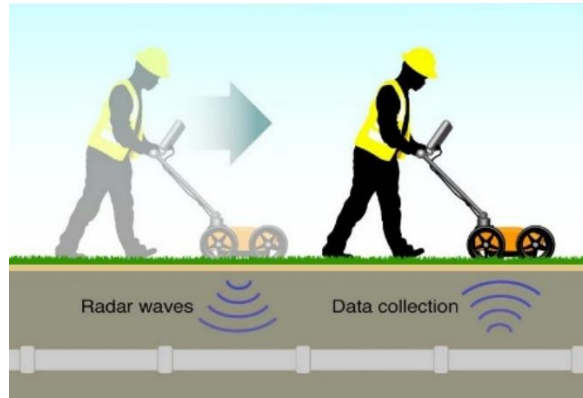


Figura 53 - Funcionamento da tecnologia GPR [175]

### 5.3.1.3. Métodos Acústicos

Os Métodos Acústicos são os mais utilizados atualmente na detecção e localização de fugas por todo o mundo, existindo inúmeras empresas a fabricar os mais variados produtos assentes no princípio de sentir as vibrações produzidas pelas fugas de água.

As Varas de Escuta ou Geofones, Figura 54, consistem num recetor para as vibrações que irão ser transmitidas nos auscultadores do operador. Os aparelhos de mão estão projetados, geralmente, para dar uma ajuda visual dos valores da audição.

A utilização destes equipamentos normalmente tem de ser testada em vários locais, e o local de maior ruído é a localização vertical mais próxima da respetiva fuga. Dentro desta tecnologia existem inúmeros equipamentos que permitem a suas utilizações em diferentes cenários. As varas de escuta estão projetadas para um contacto com a canalização e os geofones para uma deteção através do solo.



Figura 54 – a) Exemplo de Vara de Escuta para locais apropriados de aplicação b) Exemplo de Vara de escuta/Geofone para detecção de fugas de água em vários tipos de solo

Os correladores, Figura 55, são aparelhos, à semelhança dos anteriores, que também recebem as vibrações, mas nestes são registadas e através da correlação de dados, é calculada a distância da fuga aos mesmos.

Existem correladores para leituras online e leituras offline, isto é, que permitem leituras quando já se suspeita de uma fuga ou então como prevenção para as redes urbanas de água, respetivamente.

Os equipamentos como varas de escuta, geofones ou mesmo correladores, obtêm resultados exponencialmente maiores quando combinados nos diversos cenários. Os correladores podem ser portáteis para estudos direcionados em zonas suspeitas de fugas, mas também podem estar permanentemente instalados nas redes, atuam como detetores. Estes conseguem detetar pequenas fugas antes de estas se tonarem de custos avultados para reparação. Os correladores e geofones são muito eficazes quando utilizados em conjunto, com os primeiros a restringir a zona da fuga de água enquanto os geofones permitem a localização exata da mesma.



Figura 55 – a) Exemplo de Correlador Portátil b) Exemplo de Correlador Permanentemente instalado em redes de distribuição de água

Uma possibilidade da utilização destes métodos acústicos é a distribuição de registadores de ruído pela rede, Figura 56, visto que, um varrimento global que requeria muito tempo e recursos. Esta distribuição poderá definir zonas prioritárias e substituir técnicas da deteção de fugas de água já mencionadas neste documento.

Os registadores convertem as vibrações mecânicas num sinal de ruído e são programados para registar estes ruídos, geralmente, nas horas de menor consumo entre as 2h e 4h da madrugada. Estes equipamentos são colocados em contacto com a rede, como por exemplo em válvulas e permitem até criar ZMC de ruído. O conjunto de *data loggers* periodicamente, diariamente ou semanalmente, são recolhidos e colocados noutra secção a avaliar. Requerendo obviamente, a utilização de um geofone, por exemplo, para a localização exata [176].

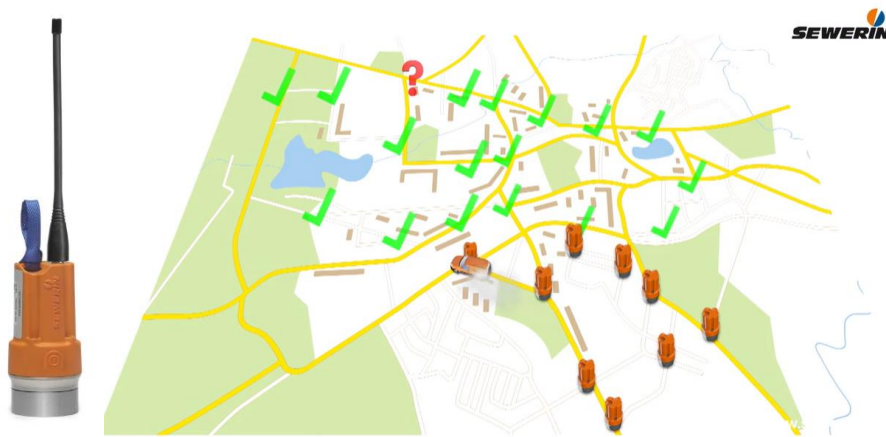


Figura 56 – a) Exemplo de Registador de Ruído b) Exemplo de Distribuição de Registadores de ruído para posterior recolha de leituras [176]

#### 5.3.1.4. Outros Métodos

Existem inúmeras tecnologias a surgir, sejam elas através de algoritmos genéticos, de novas tecnologias de sensores ou de combinações de tecnologias existentes.

A tecnologia do Gás Traçador, Figura 57, embora não seja das mais utilizadas, é uma boa opção quando combinada com outras, como as acústicas. O Gás traçador consiste em parar o caudal de água numa tubagem que supomos estar em rotura e inserir uma mistura de gás com 95% de Azoto e 5% de Hidrogénio e com um recetor altamente sensível a Hidrogénio, o operador à superfície consegue detetar o local da fuga. Este gás propaga-se facilmente em inúmeros materiais, como terra ou asfalto. Esta tecnologia tem, no entanto, a desvantagem da dificuldade em detetar fugas na parte inferior do cano [177].



Figura 57 - Funcionamento da tecnologia de Gás Traçador [178]

Os algoritmos genéticos são hoje soluções para vários problemas de engenharia. Nesta problemática existem muitos que permitem detetar e localizar as fugas. A empresa Utilis Corp, criou um algoritmo que foi baseado numa tecnologia que tinha como objetivo descobrir água em Marte. Esta inovação “recorre a imagens de satélite para localizar, através de um radar, a existência de cloro, o que indicia a presença de água potável e pode ser um sinal de uma fuga”, Figura 58 [179].

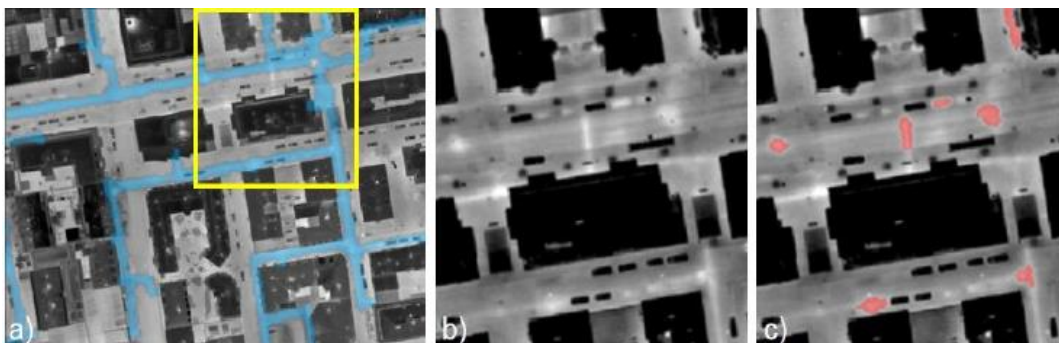


Figura 58 - Exemplo das imagens recolhidas e análise do algoritmo. a) imagem com esquema de rede de distribuição b) na imagem a esbranquiçado as possíveis fugas c) a vermelho depois da análise do algoritmo as reais possíveis fugas de água [179]

Uma outra tecnologia baseada também na análise de imagens, é a através da termografia. Esta com mais debilidades nas estações quentes, mas aquando das situações climatéricas favoráveis é possível utilizá-la a partir de câmaras térmicas portáteis.

Tecnologias como estas descritas anteriormente são um bom ponto de partida para as entidades gestoras de águas e os municípios investirem quando não possuem ainda infraestruturas permanentemente instaladas nas redes de distribuição de água, como os correladores.

Existem muitas outras tecnologias que passam por métodos numéricos, *softwares* e ainda outras que se podem inserir nas vertentes anteriormente descritas. No entanto, atualmente são os métodos acústicos os mais utilizados em todo o mundo para a localização de fugas de água, e predominantemente utilizados em combinação com outras tecnologias.

### 5.3.2. Geofone Adquirido

Revistas as tecnologias e consoante os objetivos finais da ENERAREA para o projeto EERES4WATER, procedeu-se ao contacto com algumas empresas em Portugal que possuíssem equipamentos eletroacústicos, nomeadamente correladores e geofones. Através deste estudo de mercado elaborou-se a tabela resumo dos equipamentos de que foram solicitados orçamentos, Tabela 11.

Tabela 11 - Equipamentos analisados através do estudo de mercado

Nome	Correladores		Geofones							Combinado
	LOG3000	SeCorr C200	TERRALOG	Aqua M100D	Aqua M200D	Aqua M300D	HL-7000	AquaPhon A150	AquaPhon A200 GNSS	SeCorrPhon AC200
Deteção por Contacto	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Deteção no Solo				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ajustar/ganho de frequência				✓	✓	✓		✓	✓	✓
Vários tipos de tubagem	✓	✓					✓	✓	✓	✓
Memoriza Medições	Relatório PC	70	-	?	5	6	100 Mapear	3	70	70
Preço	14268,00€	8605,08€	3382,5€	3516,57€	4637,10€	4913,85€	4592,82€	4993,92€	6273,12€	12025,10€

Tabela 12 - Equipamento aconselhado para compra

<b>Aquaphon A200 GNSS c/ unidade central SeCorrPhon AC 200 GNSS</b>
<b>7789,71€</b>

Nota: Preços com iva

O equipamento adquirido é o Aquaphon A200 GNSS mas com a unidade central, o recetor, do equipamento SeCorrPhon AC 200 GNSS, Tabela 12. Esta alteração deve-se à possibilidade de no futuro se expandir o serviço, adquirindo apenas os acessórios necessários para a correlação, ao invés de ainda ser necessário o investimento da alteração da unidade central. Estão disponíveis e operacionais as funções de “Deteção de Fuga” e “Localização no Tubo”. No menu inicial deve-se ignorar a última função, da correlação, como demonstrado na Figura 59.

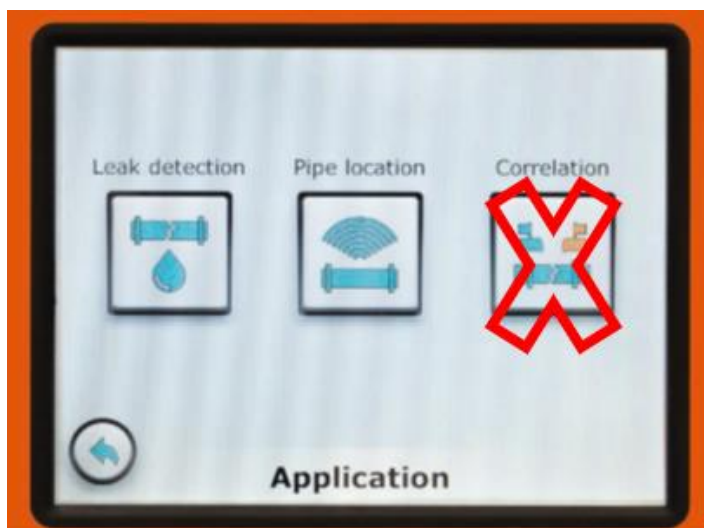






Figura 59 - Menu Inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, com exclusão da função de Correlação [180]

O equipamento foi adquirido com os acessórios base necessários ao funcionamento. Fazem parte deste conjunto os componentes expostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Componentes Adquiridos do Aquaphon A200 GNSS com a troca da unidade central pela do SeCorrPhon AC200 GNSS [181]

Código	Descrição	Imagem
<b>KR20-21092</b>	SeCorrPhon AC200 GNSS, com dois canais de rádio e GPS integrado. Inclui Antena	
<b>3209-0012</b>	Correia de transporte, sistema Vario	
<b>EZ13-18000</b>	Auriculares stereo com proteção F8, sem fios e com isolamento acústico.	
<b>LD26-10000</b>	Adaptador de carga AC/DC L 12V/5A a rede	

<b>ZM20-10001</b>	Vara de escuta TS200 para os microfones de rede e solo.	
<b>EM20-10200</b>	Microfone TM200 para redes. Para a escuta de acessórios da rede: válvulas, hidrantes, contadores, etc.	
<b>4000-1213</b>	Punção de contacto com acessórios de rede para microfone de redes TM200 -Comprimento: 350 mm	
<b>EM24-10000</b>	Microfone de solo BM200 para superfícies pavimentadas.	
<b>ZD59-10000</b>	Mala de transporte SK4 reforçada, que incorpora as conexões elétricas necessárias para a carga do equipamento a partir do interior.	

Algumas das suas principais características e que permitem uma maior eficácia são:

- Grande capacidade de amplificação;
- Permite filtrar os ruídos, eliminando ou reduzindo os ruídos ambientais. Cada função tem uma filtragem padrão, mas estas podem ser manuais variando entre 0 e 12 kHz. Além disto ainda é possível visualizar o espectro da frequência ouvida e ajustar para escutar as várias frequências que possam ser sentidas;

- Gravação automática das 7 últimas medições, com possibilidade de gravar, visualizar graficamente o ruído e ouvir novamente para não ter de repetir a medição;
- Reprodução em velocidade aumentada que permite combater a dificuldade de escutar as frequências emitidas por condutas de plástico ou condutas de grande diâmetro;
- Gravação até 70 medições para posterior análise e possível acesso através do *software* fornecido pelo equipamento, WaterCom;
- Incorpora GPS e grava a localização das medições e permite a visualização em mapa no *software*;

Além destas características anteriormente descritas ainda possui outras características de segurança para o utilizador e que permitem para combater a versatilidade dos possíveis cenários.

## **5.4. Metodologia para a Localização Exata de Fugas de Água**

Como já anteriormente referido, a localização exata de fugas de água através da inspeção acústica pode ser o seguimento, de pelo menos, duas situações distintas:

- suspeita por parte do cliente devido a deficiências no serviço de abastecimento, como por exemplo, a baixa pressão da rede;
- o cliente pretende fazer um varrimento global.

Apesar de a primeira situação ser a mais vulgar, a metodologia de trabalho mantém-se, com a necessidade de no varrimento global, obviamente ser necessário a repetição do procedimento pela rede a analisar e podendo registar o estado e também a evolução da mesma através de medições regulares.

Nota: Toda a metodologia delineada é apenas um guião de como proceder à localização da fuga de água, onde é fornecido o macroprocesso para a operação do equipamento eletroacústico nunca dispensando a leitura na íntegra do manual de instruções.

**A metodologia de trabalho proposta resume-se em 2 passos:**

- 1. Pré-localização através de inspeção acústica com o equipamento, em pontos de contacto com a rede, como por exemplo válvulas ou tampas deslizantes;**
- 2. Localização exata do local da fuga de água através da inspeção acústica, sem necessidade de contacto com a rede;**

Os 2 passos da metodologia de trabalho para localização de fugas de água desenvolvida:

- 1. Pré-localização através de inspeção acústica com o equipamento, em pontos de contacto com a rede, como por exemplo válvulas ou tampas deslizantes;**

A pré-localização é possível ser iniciada com a utilização de Registradores de Ruído já descritos anteriormente. A utilização destes equipamentos permitirá tornar este passo muito mais eficiente e sem esforços avultados. A utilização destes equipamentos também poderá ser uma excelente forma de combater a fraca existência de gestão e telemetria de algumas entidades gestoras de águas.

Equipamentos como os SePem 100 da Sewerin, Figura 60, geralmente programam-se para registar ruídos nas horas de menor consumo. Em média, instala-se um registor a cada 120/150 metros e define-se quando este irá ativar o registo. Estes equipamentos

conhecidos como pré-localizadores permitem identificar áreas onde se encontram uma ou mais fugas de água [182].



Figura 60 - Equipamento registrador de ruído, SePem 100 Sewerin [182]

Os registadores são distribuídos pela rede e com o simples aproximar da unidade central os ruídos ficam prontos para posterior análise no software para computador do equipamento. Sem sair do carro, o utilizador consegue recolher as leituras ao passar perto do local de instalação do registador. Os registadores registarão o menor ruído escutado durante o período em que esteve ativado, sendo este o ruído da rede em repouso naquele local, Figura 61 a). Quando os valores mínimos são elevados é possível que estejamos perante uma ou mais fugas de água e será o registo das frequências que permitirá ao utilizador despistar quando é uma fuga de água ou outro ruído, como por exemplo ruídos elétricos, Figura 61 b).

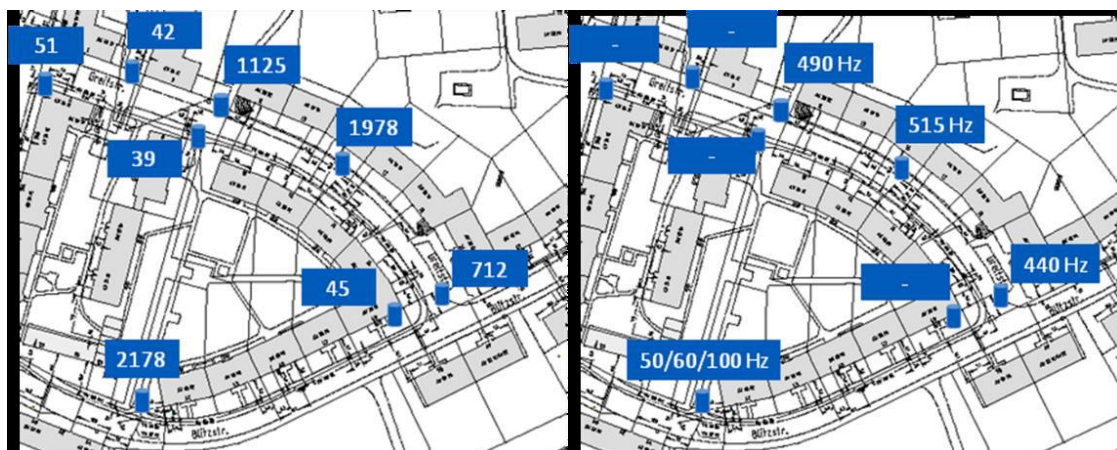


Figura 61 - a) Áreas assinaladas como suspeitas de fugas de água com registos de ruídos elevados b) Áreas suspeitas com as respetivas frequências para avaliação do utilizador

Apesar dos registadores de ruído facilitarem muito o trabalho de quem avalia a existência de fugas de água, esta também é possível através da análise à rede complementada com

a inspeção acústica que deverá ser iniciada pelos pontos de contacto com a mesma. Esta operação deve ser iniciada através da função de “Deteção de Fuga”, como demonstrado na Figura 62. Como visto anteriormente, não é no sentido literal da palavra deteção, mas no sentido da pré-localização.



Figura 62 – a) Menu inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, função de “Deteção de Fuga”, pré-localização  
b) Menu da função “Deteção da Fuga” [180]

Para esta etapa deverão ser montados à vara de escuta TS200 o microfone TM200 e acoplado o punção com 350 mm permitindo a leitura em pontos como hidrantes, válvulas, contadores ou outros pontos de contacto com as redes. Um exemplo desta operação está ilustrado na Figura 63.



Figura 63 - a) Aspeto exemplo da etapa de pré-localização com vara de escuta TS200, microfone TM200 e punção para TM200 b) A azul as zonas de contacto com a rede para a pré-localização [181]

## **2. Localização exata do local da fuga de água através da inspeção acústica, sem necessidade de contacto com a rede;**

Assim que esteja seleccionado o setor da rede onde provavelmente se encontrará uma fuga inicia-se esta etapa da localização exata da fuga de água. Neste passo selecciona-se a

função “Localização no Tubo”, como demonstrado na Figura 64, e esta ajusta automaticamente as configurações do filtro.



Figura 64 - Menu inicial do SeCorrPhon AC200 GNSS, função de "Localização no Tubo" b) Menu da função "Localização no Tubo" [180]

Para a execução da localização exata sem o contacto com a rede, deve ser acoplado à vara de escuta TS200 o microfone Bm200 e proceder à inspeção através de pavimentos, como exemplificado na Figura 65.

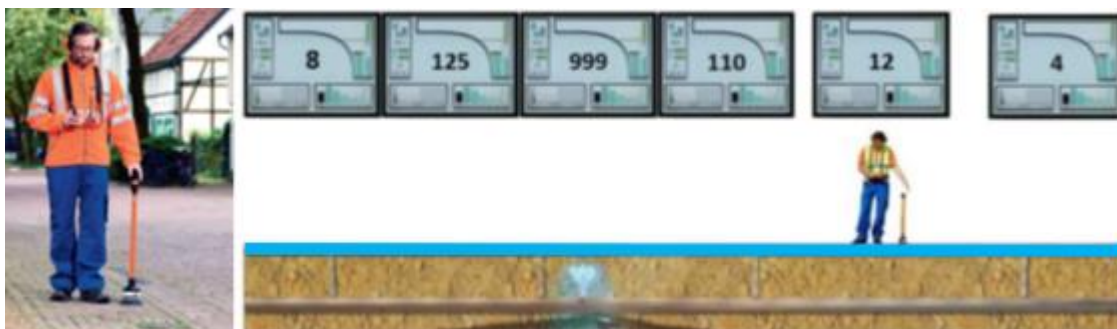


Figura 65 – a) Aspeto exemplo da etapa de localização com vara de escuta TS200 e microfone BM200 b) A azul o pavimento onde pode ser utilizado o BM200 para localização [181]

## 5.5. Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia

Neste subcapítulo é proposta uma metodologia, Figura 66, para entidades gestoras que não possuam ainda um sistema de controlo ativo de perdas de água e não têm meios para o implementar. Esta metodologia proposta visa simplificar este processo, descentralizando tarefas de modo a combater no curto-prazo as fugas de água e respetivo desperdício de energia. A implementação tem como objetivo ser o ponto de partida para um sistema mais estruturado no futuro e recolher dados para uma posterior evolução. Esta metodologia inova ainda pela avaliação da componente energética de uma fuga de água, além da componente hídrica, balanceando o custo destas componentes e priorizando a que melhores resultados fornece.

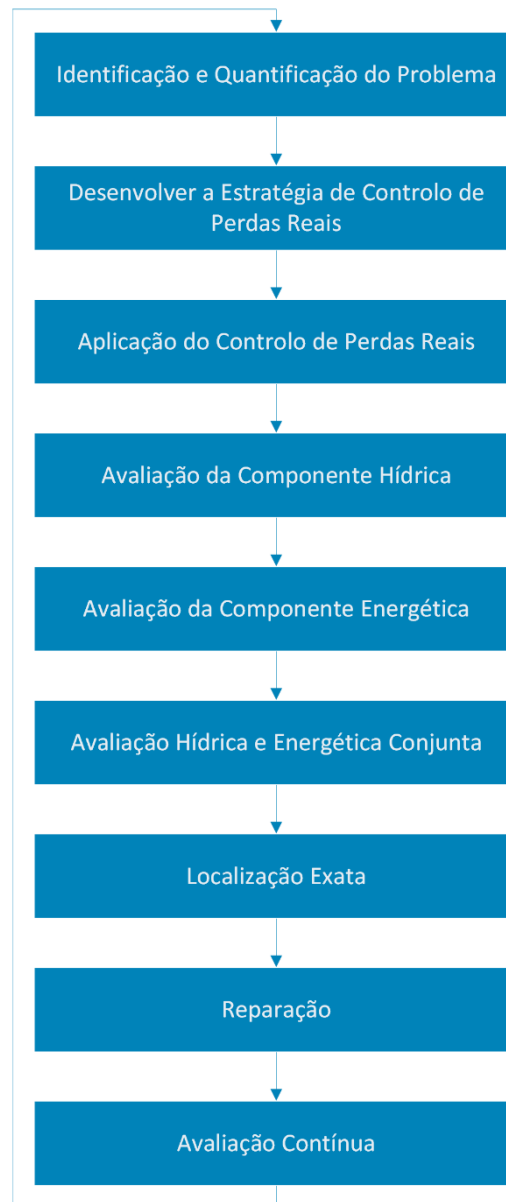


Figura 66 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia geral

### 5.5.1. Identificação e quantificação do problema



Figura 67 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, identificação e quantificação do problema

A primeira etapa desta metodologia, Figura 67, visa identificar e localizar os setores críticos para que se possa atuar de forma eficiente e priorizada por ordem de importância, relativamente às fugas de água. O balanço hídrico já é uma prática recorrente e corretamente implementada nas entidades gestoras de água para um balanço anual. Através do balanço deve-se identificar os setores onde as perdas reais são mais significativas sejam elas na adução, distribuição, nos reservatórios, estações de tratamento e outras infraestruturas ou perdas nos ramais.

A partir do balanço hídrico onde são inseridos os volumes de cada secção, é possível utilizar estes valores e calcular vários indicadores para o estudo em diversos cenários. Um dos indicadores que mais utilizado em todo o mundo, incorretamente, é a “% de volume pela entrada no sistema”, este indicador pode ter um resultado melhor sem que se reduzam as perdas distorcendo a realidade. Estes indicadores quando escolhidos deve

ter-se em análise o contexto de comparação que se pretende obter, nomeadamente se a comparação é dentro de um sistema individual ou se é feita através de múltiplos sistemas. Globalmente, no cálculo destes indicadores, qualquer indicador expresso em percentagem deve ser evitado [183].

Alguns dos indicadores mais utilizados são aqueles que analisam as perdas reais por unidade de comprimento ou por ramal, l/km conduta/dia e l/ramal/dia, respetivamente. Na ausência de um nível económico de perdas, um dos indicadores que permite avaliar os indicadores anteriormente mencionados é o indicador de perdas reais mínimas, deduzido a partir de estudos práticos, que contabiliza as perdas que são inevitáveis [35]. Este indicador das perdas anuais inevitáveis, acaba por ser um indicador de maior facilidade de compreensão. O *Unavoidable Annual Real Losses* (UARL) permite prever as menores perdas reais alcançáveis para diversas características. Entre estas características estão o comprimento das redes, número de ramais, pressão média de serviço, localização dos medidores e continuidade do abastecimento [34], [184].

$$UARL [L/ramal/dia] = (18 \times \frac{Lm}{Nc} + 0.8 + 25 \times Lp) \times P$$

- Lm = comprimento da rede (km);
- Nc = número de ramais;
- Lp = comprimento médio enterrado de ramais (km);
- P = pressão média de operação na zona em estudo (m).

O UARL foi sofrendo algumas alterações na sua aplicabilidade em sistemas pelos seus limites superiores e inferiores de densidade de ramais, tamanho do sistema e pressão média de serviço. Em 2020, na mais recente revisão desta temática, surge o conceito de fator de correção do sistema, *System Correction Factor* (SCF), para sistemas com densidade inferior a 5000 ramais ou pressões médias fora do intervalo de 45 a 60 metros [185].

O UARL permite ainda o cálculo de um indicador de perdas em infraestruturas. O *Infrastructure Leakage Index* (ILI) viabiliza a comparação entre redes e estruturas com diferentes dimensões e diferentes características. O ILI é o quociente entre as perdas reais anuais atuais, *Current Annual Real Losses* (CARL), obtido através do balanço hídrico e o UARL referido anteriormente [184], [185].

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

### 5.5.2. Desenvolver a estratégia de controlo de perdas reais

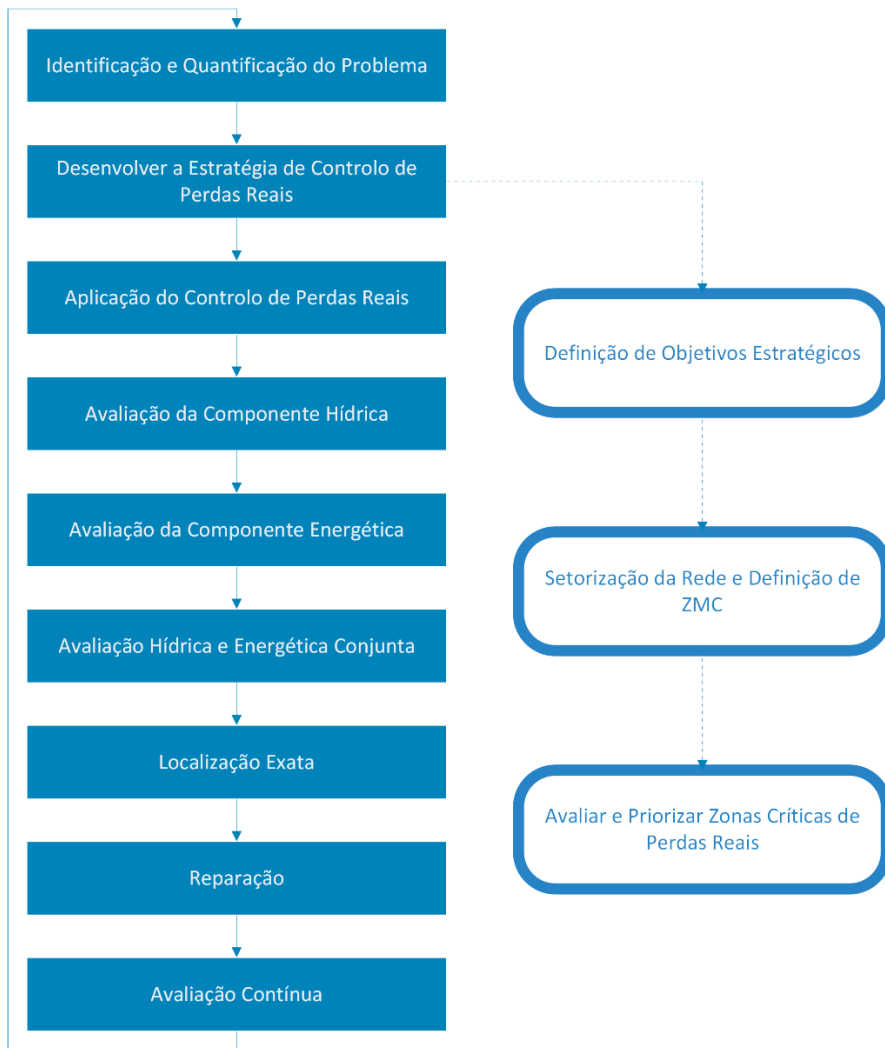


Figura 68 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, desenvolver a estratégia de controlo de perdas reais

Após a identificação e quantificação do problema é necessário definir objetivos no curto prazo, provavelmente anuais, e objetivos a longo prazo baseados em indicadores como o UARL ou ILI.

Uma estratégia de controlo de perdas reais, Figura 68, esta impreterivelmente associada a uma rede setorizada em Zonas de Monitorização e Controlo (ZMC). Estas zonas devem estar bem delimitadas para que a análise seja rigorosa, mas para que isto aconteça de modo a não intervir no bom funcionamento e na qualidade do serviço é necessário existir um grande conhecimento da rede. Este conhecimento pode ser adquirido através do Sistema de Informação Geográfica, Sistema de Informação de Gestão de Clientes, Modelo Digital do Terreno e Modelo Hidráulico do Sistema [34]. Estas zonas devem obedecer a um conjunto de critérios, nomeadamente ao total de consumidores a que devem de responder, mas mais importante é que possam ser isoladas e avaliadas com

um sistema único. A busca pela melhor delimitação de ZMC é um processo iterativo e que por vezes pode ser testado por diversos ciclos anuais, estas devem ainda separar a adução da distribuição, criar “andaes” de pressão distintos conforme as altitudes. Estas zonas já costumam estar identificadas pelas entidades gestoras, mas nem sempre a ser monitorizadas pelas diversas técnicas existentes de um modo pró-ativo [35].

### 5.5.3. Aplicação do controlo de perdas reais

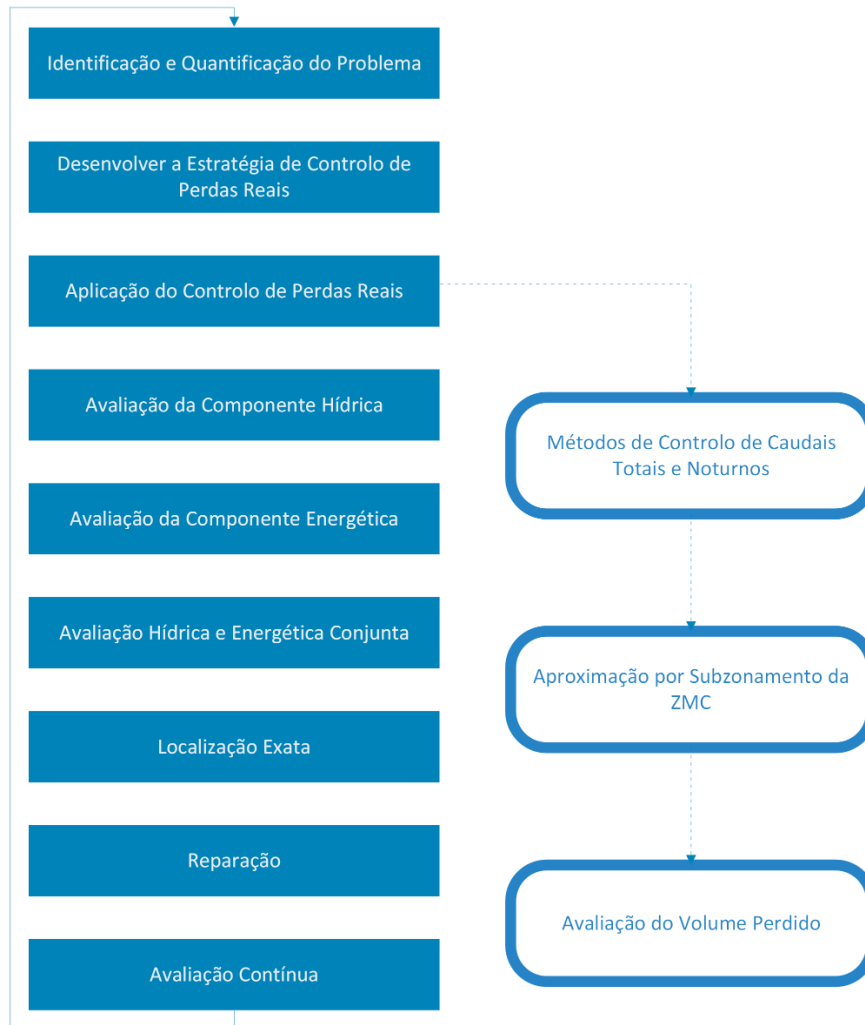


Figura 69 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, aplicação do controlo de perdas reais

A partir das ZMC definidas a aplicação do controlo de perdas reais, Figura 69, é possível aplicar métodos de controlo de caudais para detetar anomalias relativamente à diferença de caudal na entrada e saída de cada zona.

O Método dos Caudais Totais contabiliza a entrada de água na zona e soma as diversas saídas incluindo o consumo, a diferença entre estas será o valor das perdas, sendo que a estas ainda terá de ser retirado o valor das perdas aparentes correspondentes da zona.

No entanto, o Método dos Caudais Noturnos avalia estes como o nome indica, à noite em horas em que o consumo é menor. Em certos horários o caudal registado é quase inexistente, portanto pressupõe-se que o caudal escoado corresponde quase na totalidade a perdas de água reais [35].

De entre os dois métodos referidos anteriormente o dos caudais noturno é aquele que melhor serve esta metodologia, facilitando o trabalho da deteção de fugas, não necessitando de avaliar questões mais complexas com a análise de consumos. No entanto o método dos caudais totais é bastante útil para priorizar as ZMC para intervenção [35].

Após a deteção de anomalias e priorizadas as zonas de atuação, procedeu-se à redução da área a procurar. O subzonamento consiste apenas em dividir a ZMC em várias, analisar os caudais em separado e voltar a priorizar estas pequenas zonas. Nesta fase de sucessivas tentativas de redução de área, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica pode ser bastante útil. Quando detetada a zona aproximada da fuga de água é também quantificada em volume.

#### 5.5.4. Avaliação da componente hídrica

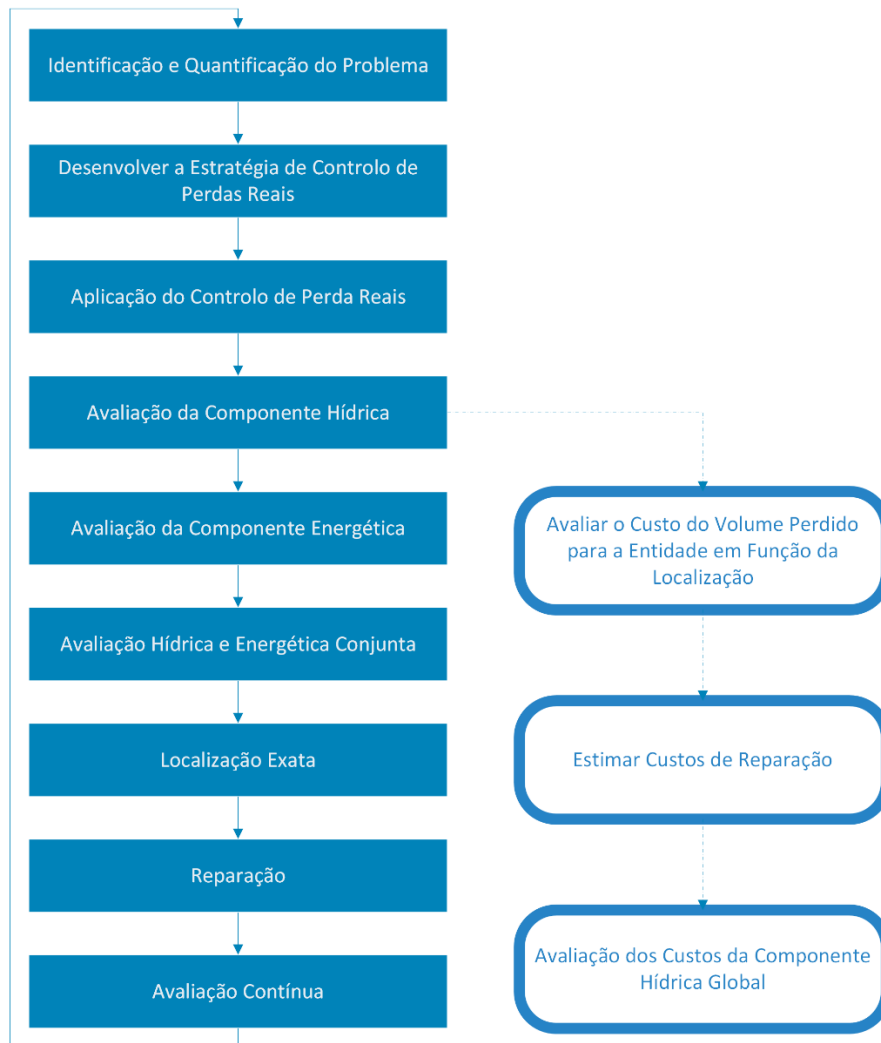


Figura 70 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação da componente hídrica

Com a fuga de água detetada e quantificada pode-se então proceder à avaliação da mesma. A primeira é semelhante à que já existe em entidades gestoras que aplicam um controlo ativo de fugas. Inicialmente na avaliação da componente hídrica, Figura 70, é analisado o custo do volume de água perdido. Esta parcela pode variar dentro da própria rede, existindo zonas onde m<sup>3</sup> é mais caro para a entidade do que noutras, sendo estes valores normalmente são conhecidos pela entidade. Esta associação de custo ao volume de água perdido fica ao critério de cada entidade, consoante a discriminação dos dados que possuir.

Outra das componentes associada à perda da água é o custo da reparação a que esta implica. Esta vertente é das que possui maior incerteza pois apenas quando existe contacto visual com a conduta se consegue avaliar o real cenário a reparar. Por vezes quando se julga ser apenas uma fuga poderão ser várias, o que implica a uma reparação

bem mais dispendiosa. Para combater este fenómeno, e se se justificar, por alguma suspeita e conhecimento do terreno, poderá ser feito um teste de localização exata para tentar identificar vários picos ruído. Esta incerteza diminui quando é delineada uma substituição total do troço de condutas, sendo que o cadastro pode também induzir a alguns erros. Incluído nos custos de reparação poderão estar os custos com recursos humanos e custos em investimentos de equipamentos de localização.

No fim da avaliação da componente hídrica deve ser avaliada a junção da componente relativa ao volume de água perdida e os custos desta reparação. Neste ponto, a entidade deve ser capaz de calcular o Nível Económico de Perdas Reais de Curto Prazo (NEPr-CP). Este indicador é muito mais simples de calcular para qualquer entidade, pois apenas compara os custos marginais de deteção e reparação das perdas reais com os benefícios marginais da água que deixa de se perder [51].

$$\begin{aligned}
 & \textit{Benefícios Marginais} \text{ [€]} \\
 & = \textit{Volume perdido} \text{ [m}^3\text{]} \\
 & \times \left( \textit{Custo de venda ao consumidor} \text{ [€/m}^3\text{]} \right. \\
 & \quad \left. - \textit{Custo de Produção por Localização} \text{ [€/m}^3\text{]} \right)
 \end{aligned}$$

Nível Económico de Perdas Reais no Curto Prazo

$$\textit{NEPr} - \textit{CP} \text{ [€]} = \textit{Benefícios Marginais} \text{ [€]} - \textit{Custos de Reparação e Deteção} \text{ [€]}$$

### 5.5.5. Avaliação da componente energética



Figura 71 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação da componente energética

Esta fase, Figura 71, é a que diferencia esta metodologia pelo cálculo energético do volume de água desperdiçado avaliado anteriormente.

Primeiro é necessário calcular o custo energético em cada ponto em que se use energia, como reservatórios, estações elevatórias, estações de tratamento, etc. A partir daqui deve ser obtido o custo energético por unidade de volume em cada um destes pontos. Para obter este custo pode ser criada uma ferramenta que automatize estes valores quando inseridas as contagens energéticas e as contagens da água que por estes pontos passam, anualmente.

Após esta preparação são somados os custos energéticos desde a localização aproximada da fuga até à origem da água. Este processo pode ser complexo e demorado, por isso, devem ser feitos grupos de custo energético, quando for possível isolar certos pontos com apenas uma entrada e uma saída, não existindo alternativa para o percurso da água.

No final, o custo energético do caminho percorrido pela água deve ser multiplicado pelo volume de água que se estima estar a perder.

$$\text{Custo Energético por Infraestrutura} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = \frac{\text{Custo anual} [\text{€}]}{\text{Caudal Anual} [\text{m}^3]}$$

Componente Energética [€]

= Volume Perdido [m<sup>3</sup>]

$$\times \sum_{\text{Local da Fuga}}^{\text{Origem da Água}} \text{Custo Energético por Infraestrutura} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$$

### 5.5.6. Avaliação hídrica e energética conjunta

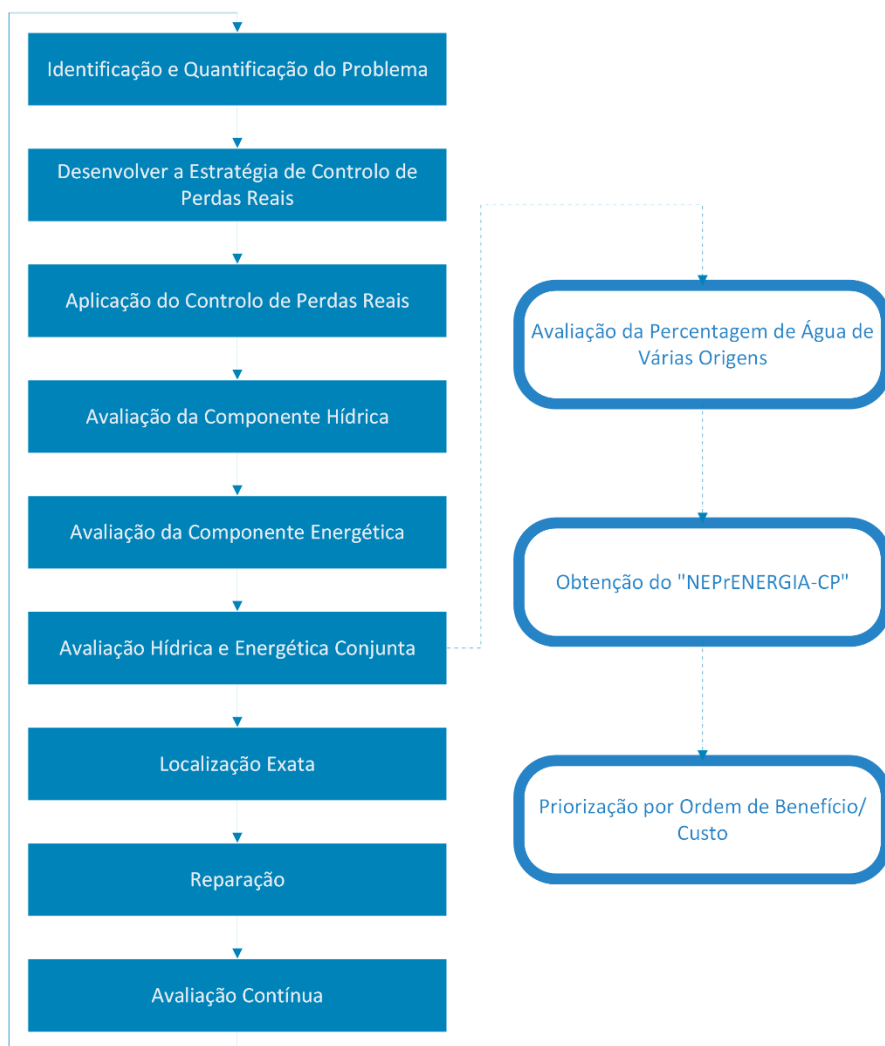


Figura 72 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação hídrica e energética conjunta

Após a avaliação da componente hídrica e energética é feita a junção das duas vertentes e a avaliação em conjunto, Figura 72. Ainda antes deste passo é necessário avaliar se no local onde foi detetada a fuga, existe água proveniente de várias fontes e neste caso, deve ser feita uma correlação tanto hídrica como energética dos custos associados a cada caminho percorrido pela água. Esta avaliação de percentagens de várias fontes de água é possível através de modelos de simulação hidráulica que geralmente todas as entidades possuem.

A obtenção do Nível Económico de Perdas Reais e Energia no Curto Prazo (NEPrE-CP) é objetivo principal desta metodologia. Ao NEPr-CP já abordado anteriormente, é adicionada a energia desperdiçada quando existe uma fuga de água. A todos os custos de deteção, localização, reparação e também do próprio volume perdido, são adicionados os custos energéticos da energia gasta desde a captação da água até ao local da rotura. A associação do custo monetário à energia fica também ao critério da entidade, conforme a discriminação dos dados que possuir.

O NEPrE-CP irá permitir perceber a validade da reparação de uma fuga e priorizar as mesmas para as fases seguintes localização exata e reparação.

Nível Económico de Perdas Reais e Energia no Curto Prazo:

$$\begin{aligned} NEPrE - CP \text{ [€]} \\ &= ( \textit{Benefícios Marginais [€]} + \textit{Componente Energética [€]} ) \\ &- \textit{Custos de Reparação e Deteção [€]} \end{aligned}$$

### 5.5.7. Localização exata

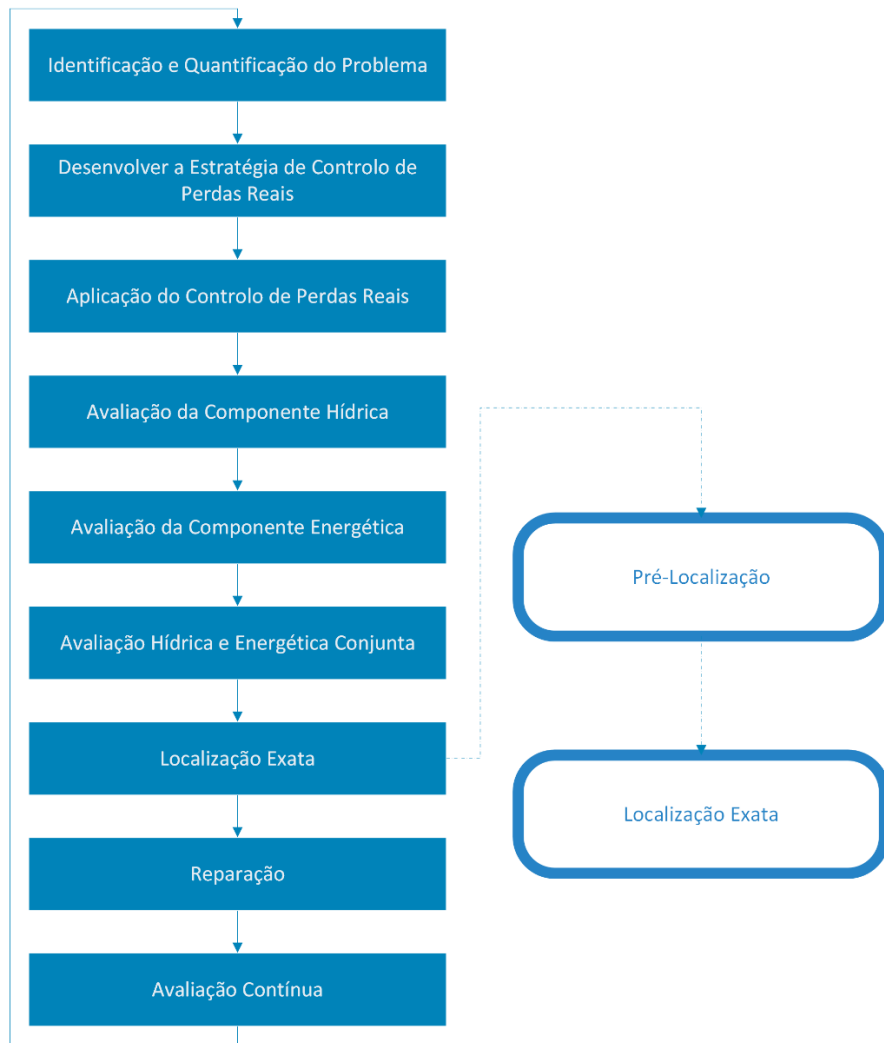


Figura 73 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, localização exata

Após a deteção das fugas e priorização das mesmas, pode-se proceder à localização exata para reparação, Figura 73. A pré-localização e localização exata pode ser feita através de métodos acústicos, nomeadamente correlação acústica ou de geofones, como abordados neste documento.

### 5.5.8.Reparação



Figura 74 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, reparação

Após a deteção do local exato da fuga de água procede-se à reparação da conduta, Figura 74. Como dito anteriormente, a esta fase está associada uma grande incerteza e só é realmente definida quando existe contato visual e verificação do real estado da conduta. Quando são verificadas condições piores às estimadas, como por exemplo a existência de diversas fugas ou um registo de fugas recorrentes num mesmo troço, deve ser avaliada a reabilitação ou substituição total do mesmo.

### 5.5.9. Avaliação contínua



Figura 75 - Metodologia para controlo pró-ativo de perdas de água e energia, avaliação contínua

Por último, deve-se proceder a uma avaliação contínua, Figura 75. Esta avaliação deve ser pelo menos anual, avaliando de novo o balanço hídrico, os indicadores definidos inicialmente e a verificados os objetivos atingidos. Dentro da avaliação de indicadores deve ser avaliado o novo ILI conseguido pela organização, sendo atualmente este indicador a melhor comparação entre diferentes redes e diferentes entidades. Após esta avaliação devem ser ainda avaliadas e se necessário redimensionadas as ZMC, com a perspetiva de conseguir melhores resultados. Podem ser criadas ainda novas ZMC, simultaneamente à renovação de redes urbanas.

Anualmente, deve-se ainda fazer uma análise introspectiva do estado em que se encontra a organização no controlo ativo de perdas de água e energia. Este estado deve ser avaliado com o intuito de avaliar a maturidade com que esta metodologia está implementada e ponderada a transição para uma metodologia mais complexa, como

aquela em que esta foi inspirada. A metodologia em que esta foi inspirada, [35], necessita do cálculo ou aferição de conceitos mais complexos, mas estes necessitam de um ponto de partida e é o que esta metodologia se propõe a fornecer. Um dos exemplos é o cálculo do NEP que necessita de valores do custo do controlo ativo das perdas, mas quando uma entidade não implementa ainda nenhuma metodologia, não consegue obter estes dados. Esta metodologia propõe que além de um ponto de partida para entidades que não possuam ainda este controlo ativo, começar a fazê-lo já com a avaliação energética de roturas.

Numa fuga de água, não é só perdida água, mas também desperdiçada toda a energia que esta já utilizou nos seus processos.

## 5.6. Caso de Estudo – Avaliação e Localização de Fugas de Água

Para demonstrar o desperdício de energia associado às fugas de água, a Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia foi adaptada para a avaliação, deteção, localização e reparação de uma só fuga de água.

A metodologia adaptada tem como objetivo demonstrar o benefício de incorporar a energia no balanço do desperdício de uma fuga de água, e demonstrar o potencial de recuperação se for adotada uma política de redução das perdas reais das redes de distribuição. Este caso de estudo tem como objetivo ainda servir de motivação e demonstrar os possíveis ganhos, principalmente os que dizem respeito as fugas de água.

Foi solicitado a uma entidade que gere a distribuição de águas, que com os seus meios fornece-se uma suspeita de uma fuga para que se pudesse implementar a metodologia. Foi indicada uma fuga de água com um caudal perdido estimado em 150m<sup>3</sup>/mês, ou seja, 1800m<sup>3</sup>/ano, numa localização de irrigação de espaços verdes. Nesta demonstração, os cálculos que requeiram dados como os custos de reparação/deteção não serão feitos, pois estes valores são valores referentes aos gastos e investimentos relacionados com o departamento que opera a gestão das fugas de água.

Assumindo que a água desperdiçada poderia estar a ser consumida numa casa com 4 pessoas pode-se assumir a tarifa variável de 0,912€/m<sup>3</sup>. Isto significa, que por cada m<sup>3</sup> de água que é desperdiçado não se está a faturar 0,912€. Sendo assim, os benefícios marginais da recuperação desta fuga de água, anualmente, são:

$$\begin{aligned} \text{Benefícios Marginais [€]} &= 1800 [m^3] \times 0,912 \left[ \frac{€}{m^3} \right] \\ &= 1641,6 [€] \end{aligned}$$

Observando o trajeto da água desde a sua captação até à zona da fuga, a água passa por 7 infraestruturas com consumo energético, tendo estas as contagens apresentadas na Tabela 14, assumindo 0,18€/kWh.

Tabela 14 – Infraestruturas desde a origem até à zona da fuga e Contagens Hídricas e Energéticas

Infraestrutura	Contagem de Hídrica (m <sup>3</sup> /ano)	Contagem Energética	
		(kWh/ano)	(€/ano)
1	71 334	96423	17 356,14
2	71 334	46250	8 325
3	71 334	40019	7 203,42
4	71 334	36535	6 576,3
5	35 667	6342	1 141,56
6	17 834	9756	1 756,08
7	8 917	6135	1 104,3

Com as contagens é possível aferir os custos energéticos por infraestrutura. Tanto em kWh/m<sup>3</sup>, que é o mais importante do ponto de vista ambiental averiguando a energia que é passível de ser poupada, como em €/m<sup>3</sup>. Na Tabela 15 é possível analisar o custo energético de cada infraestrutura.

Tabela 15 - Custos Energéticos por Infraestrutura

Infraestrutura	Custo Energético	
	(kWh/m <sup>3</sup> )	(€/m <sup>3</sup> )
1	1.351712	0,243
2	0.648358	0,117
3	0.561009	0,101
4	0.512168	0,092
5	0.177811	0,032
6	0.547045	0,099
7	0.688012	0,124
<b>Total</b>	4.486115	0,808

Com o custo energético por infraestrutura e o volume que se estima estar a perder, já é possível calcular a componente energética. Esta permitirá, a somar à componente hídrica, conhecer realmente quanto se está a desperdiçar em termos hídricos, energéticos e monetários:

$$\begin{aligned}
 & \text{Componente Energética [€]} \\
 & = 1800 [m^3] \times (0,243 + 0,117 + 0,101 + 0,092 + 0,032 + 0,099 \\
 & + 0,124) \left[ \frac{€}{m^3} \right] \\
 & = 1454,4 [€]
 \end{aligned}$$

Para prevenir perdas de água avultadas até à localização e reparação da fuga na conduta, foi fechada uma válvula durante alguns dias até à visita agendada para implementação da metodologia.

Neste caso de estudo como é apenas uma fuga não é necessário priorizar a ordem de atuação e procedeu-se à localização e reparação da mesma.

A pré-localização iniciou-se com a vara de escuta em contacto com a rede, Figura 76, através de uma válvula onde foi possível detetar a fuga já prevista pela gestão da telemetria.



*Figura 76 - Operação “Detecção de Fuga” para pré-localização, com a Vara de Escuta TS200 instalada*

Após a deteção da fuga de água, procedeu-se à localização exata com o geofone, Figura 77. Percorreu-se a canalização à procura do local vertical à fuga, através das funcionalidades que o equipamento eletroacústico fornece, desde o som ouvido nos auscultadores e informação visual fornecida no ecrã, como já abordado anteriormente. O ficheiro gerado pelo software do equipamento encontra-se no Apêndice II. Neste relatório é possível consultar alguns detalhes da gravação e ainda o local assinalado num mapa. No local exato também foi assinalado com tinta, para que uma equipa procedesse à posterior reparação.



Figura 77 - Operação “Localização no Tubo” para localização exata, com a Microfone BM200 instalado

Em suma, este caso de estudo serviu para demonstrar os benefícios do combate às Perdas Reais de Água, considerando também a energia que cada m<sup>3</sup> de água já consumiu. A componente hídrica é aquela que já é avaliada pelas entidades gestoras de água, e a junção da componente energética é a proposta desta metodologia.

Na Tabela 16, é possível comprovar os resultados entre a avaliação da componente hídrica já presente nas entidades, em comparação com a adição da componente energética. Na vertente atual, neste caso de estudo, apenas se recuperariam 1800 m<sup>3</sup>/ano que representam 1641,6 €/ano. No entanto, com este novo método percebemos que também se recuperam 8075 kWh/ano representando 1454,4 €/ano economizados, quase o mesmo valor da componente hídrica.

Tabela 16 - Tabela Resumo do Caso de Estudo

Componente Hídrica		Componente Hídrica + Energética	
1800 m <sup>3</sup> /ano	1641,6 €/ano	1800 m <sup>3</sup> /ano + 8075 kWh/ano	1641,6 €/ano + 1454,4 €/ano = 3096 €/ano



## 6. Conclusão

No decorrer deste capítulo são apresentadas as conclusões finais referente ao trabalho realizado, são apresentados e descritos os eventos nos quais foi apresentado o trabalho e são avaliadas propostas para trabalhos futuros.

### 6.1. Conclusões finais

A relação entre a Água e a Energia já está inserida na sociedade desde há muitos desde a utilização de rodas hidráulicas nos rios bem como a utilização de energia para ajudar na distribuição e obtenção de água.

Além das potencialidades e também através de soluções de aproveitamento já existentes, é importante continuar uma política sustentável. Portugal já tem uma política definida para o curto, médio e longo prazo através dos planos nacionais e roteiros com medidas concretas de modo a atingir as metas propostas pela União Europeia.

Em Portugal, nomeadamente na região Centro, demonstrou-se que as potencialidades das energias renováveis ligadas à água são grandes. Seja através do aproveitamento da orografia da zona, da captação de água das chuvas ou mesmo o aproveitamento da energia solar no aquecimento de Águas Quentes Sanitárias. É de elevada importância projetos inovadores para continuar a incentivar o aproveitamento das energias renováveis relacionadas com água e que permitam continuar a investigação no âmbito do WEN. São de extrema importância projetos como o Parque Alexandre Aibéo, e a sua divulgação, do modo que se permitam moldar variáveis, se descubram novos desafios e como os resolver.

O WEN tem sido alvo de um crescente interesse, já com inserção de outros elementos no seu estudo como a alimentação ou carbono. Com a acrescida atenção, existe a necessidade de normalizar quem trabalha para e com o conceito. Nesta pesquisa foram investigadas normas que possam estar diretamente interligadas ao conceito e aplicando-as a um cenário de uma comunidade inteligente e sustentável, procuraram-se as temáticas que já são abordadas e aquelas que necessitam de mais atenção. Uma revisão crítica foi fornecida com conclusões das temáticas mais importantes, tais como: uma pegada WEN, para projetos e instituições; armazenamento de água como energia nas redes de distribuição de água; Integração de energias hídricas em sistema integrados de outras fontes renováveis; governança e tomada de decisão. Foram propostas algumas

revisões futuras de normas e proposto um caminho para a normalização do conceito através da série ISO 50001, a avaliando a água como energia.

A energia está imperativamente presente na água, nomeadamente no seu processo. Desde a captação, passando pelo consumo até a devolução ao meio ambiente. Grandes períodos de elevada escassez de água estão cada vez mais presentes em variadas partes do globo e os consumos de água e energia estão a aumentar. Ficou demonstrado neste documento que desperdiçar água é desperdiçar energia. Atualmente as entidades gestoras de água olham para as fugas de água apenas pelo seu valor hídrico, que também é importante, mas não olham para o seu valor energético. A água quando é perdida numa fuga já foi bombeada, tratada ou armazenada. A energia consumida poderia ser utilizada noutros fins, fazendo-se um uso mais eficiente de recursos.

## 6.2. Disseminação de Resultados

Ao longo da elaboração desta dissertação surgiram algumas oportunidades no âmbito do projeto EERES4WATER, de partilhar resultados e conclusões em alguns eventos.

### 6.2.1. ENERTECH Sabugal 2021 – Feira das Tecnologias para a Energia

A ENERTECH Sabugal 2021, Feira das Tecnologias para a Energia decorreu em Novembro 2021. Nesta feira decorreu a conferência “Desafios para a Transição Energética” organizada pela ENERAREA em conjunto com a Universidade da Beira Interior. Foram convidados alguns parceiros do projeto EERES4WATER a apresentar o projeto bem como alguns resultados das respetivas pesquisas. Nesta conferência foi apresentada a temática referente ao capítulo da normalização no Water-Energy Nexus, nomeadamente as normas aplicáveis, os cenários e algumas conclusões, Figura 78. Nesta altura o capítulo desta dissertação que aborda o tema ainda não estava terminado, o que permitiu ainda consolidar a análise crítica feita.

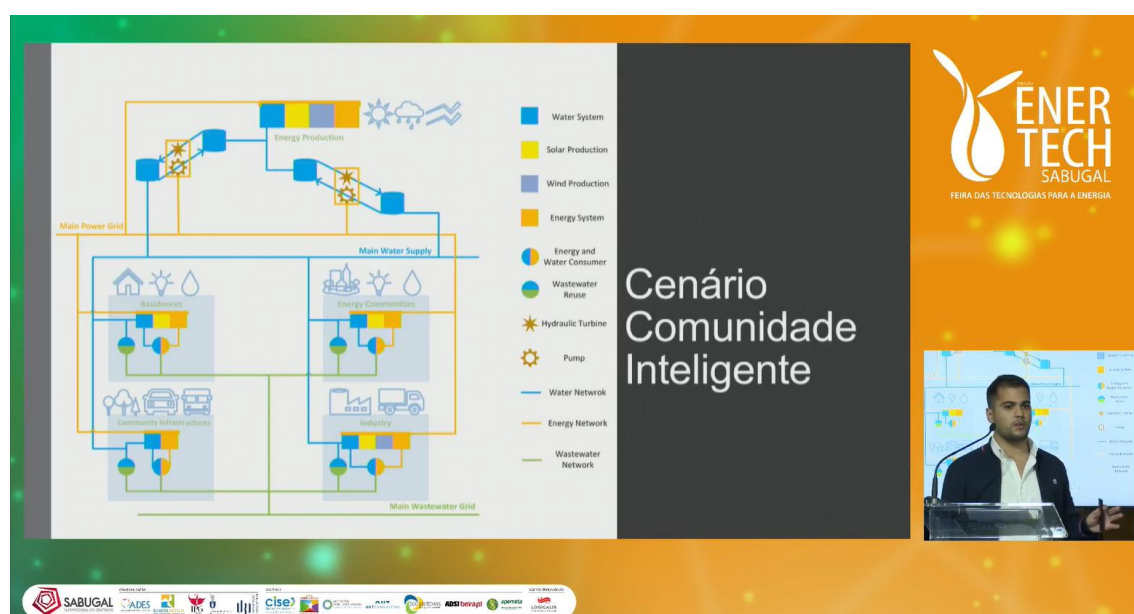


Figura 78 - Apresentação "Normalização no Nexus Água- Energia", ENERTECH 2021

### 6.2.2. Jornadas Técnicas – Digitalização e Eficiência Hídrica em Municípios, Associação Municípios Cova da Beira

As Jornadas Técnicas, Digitalização e Eficiência Hídrica em Municípios foram organizadas pela Associação Municípios Cova da Beira em que foi proposto apresentar o projeto EERES4WATER numa conferência sobre Monitorização e Gestão de Fugas de Água em Sistemas de Distribuição em Baixa. Nesta conferência foi apresentada a Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia, Figura 79. Após a

apresentação existiu um debate com Engenheiros e Técnicos das entidades gestoras de água dos municípios que estão inseridos na Associação de Municípios Cova da Beira. A discussão foi bastante produtiva e construtiva, o que levou a inserir os indicadores para comparação entre entidades e ainda validar a metodologia como útil no futuro. Vários testemunhos por parte da plateia apontaram para grandes perdas de água nas entidades e conseqüente perda de energia.



*Figura 79 - Apresentação "Monitorização e Gestão de Fugas de Água em Sistemas de Distribuição em Baixa", Jornadas Técnicas – Digitalização e Eficiência Hídrica, Associação de Municípios Cova da Beira*

### **6.2.3. Encontro Semestral EERES4WATER, Évora, Abril 2022**

No encontro semestral do projeto EERES4WATER, que decorreu nos dias 20 e 21 de Abril na Universidade de Évora, estiverem presentes os parceiros internacionais do projeto e foram discutidas conclusões e colaborações finais para o mesmo Figura 80. Neste encontro da nossa parte foi apresentada e debatida a Metodologia para Controlo Pró-Ativo de Perdas de Água e Energia e ainda foram discutidas conclusões relativamente à normalização. Sobre a normalização foi abordada a questão da inexistência de uma norma que aborde diretamente o WEN. Será discutida no próximo e último encontro do projeto, a possibilidade de integrar um comité de normalização para a criação de normas para este tema.



*Figura 80 - Encontro Semestral do projeto EERES4WATER, Évora, Abril 2022*

#### **6.2.4. Sessão Técnica Nexus Água-Energia, Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**

Decorrerá ainda no dia 30 de Junho de 2022, na Universidade de Aveiro uma Sessão Técnica Nexus Água-Energia inserida no Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental. O convite para esta palestra foi feito pela Universidade de Évora, parceiro do projeto EERE4WATER, onde foi proposta uma apresentação sobre “Gestão e monitorização de fugas de água e sistemas urbanos de distribuição”. Nesta palestra será apresentada a metodologia presente neste documento, e por fim, os resultados obtidos através do caso de estudo.

### **6.3. Trabalhos Futuros**

Ao longo do trabalho foram muitas as temáticas analisadas no âmbito do *Water-Energy Nexus*. No entanto, acaba por ser impossível abordar todas as questões e documentos visualizados neste documento. Posto isto, algumas temáticas suscitaram mais interesse para que sejam abordadas mais atenciosamente no futuro.

O Parque Alexandre Aibéo constitui hoje um piloto de referência para o estudo do WEN. Criar um sistema de otimização gestão do projeto que permita a sua replicação e inserção noutros pontos da rede de distribuição seria uma das possibilidades no futuro. Associado a este sistema existe ainda a possibilidade de desenvolvimento de um algoritmo que permita fornecer as entidades gestoras de água, capacidade de decisão nos locais a implementar sistemas como este que armazenam água como energia. Sistema este que apte ainda as entidades a uma certificação da ISO 50001.

Nesta dissertação foi abordada uma metodologia de localização de fugas de água e ainda o controlo pró-ativo das fugas de água e energia. Como trabalhos futuros a localização exata de fugas de água poderia ser alargada a outros métodos e controlos, sejam através de outras tecnologias ou de modelos de gestão.

Nomeadamente a metodologia de controlo pró-ativo de fugas de água e energia, pode ser alargada as fugas de água residual permitindo aferir, ao contrário da metodologia proposta, a energia que se poderia produzir, ao invés da energia que já se desperdiçou.

As políticas ao longo deste estudo evoluíram, seria interessante no futuro fazer um estudo mais aprofundado da política para o WEN, e ainda fazer uma comparação entre continentes e os passos dados na formulação de políticas mais sustentáveis.

Por último, a escassez de água tem assolado partes por todo o globo. Atualmente a reutilização das águas pluviais e as denominadas de águas cinzentas, ainda não estão devidamente presentes na sociedade. Seria interessante perceber quanto a reutilização desta água permitirá poupar em termos hídricos e energéticos. Este estudo seria interessante tanto a nível local, regional ou mesmo em grande escala internacional. Associada a esta vertente seria ainda importante de comparar as coletas e reutilização centralizada e descentralizadas.





## 7. Referências Bibliográficas

- [1] E. C. Pinheiro, “Revista Online do Museu de Lanifícios da Universidade da Beira Interior - A Real Fábrica de Panos, um marco histórico na paisagem industrial e cultural da Covilhã”.
- [2] “A Covilhã Industrial - Memórias da Covilhã.” <https://memoriasdacovilha.blogs.sapo.pt/a-covilha-industrial-2650> (accessed Dec. 06, 2021).
- [3] A. Filipe and F. Gomes, “Universidade da Beira Interior - Engenharia Requalificação de Edifício Fabril na Ribeira da Carpinteira-Covilhã”.
- [4] “Museu dos Lanifícios, Covilhã.” 2020.
- [5] “Museu da Eletricidade, Seia.” 2021.
- [6] W. N. Lubega and A. M. Farid, “A meta-system architecture for the energy-water nexus,” *Proceedings of 2013 8th International Conference on System of Systems Engineering: SoSE in Cloud Computing and Emerging Information Technology Applications, SoSE 2013*, pp. 76–81, 2013, doi: 10.1109/SYSOSE.2013.6575246.
- [7] A. S. Al-Sumaiti, A. K. Bahhidarah, J. L. Wescoat, A. K. Bamigbade, and H. the Nguyen, “Data Collection Surveys on the Cornerstones of the Water-Energy Nexus: A Systematic Overview,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 93011–93027, 2020, doi: 10.1109 / ACCESS.2020.2995054.
- [8] V. Cojanu and E. Helerea, “On the Water-Energy Relationship in the Case of Water Supply Systems,” *2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, pp. 1–6, May 2021, doi: 10.1109 / ICATE49685.2021.9464941.
- [9] “Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica da Economia Portuguesa 2050 PT Ambiente”.
- [10] “Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)”.
- [11] S. Ahmad, H. Jia, Z. Chen, Q. Li, and C. Xu, “Water-energy nexus and energy efficiency: A systematic analysis of urban water systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 134, p. 110381, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110381.
- [12] G. Grigoras *et al.*, “ICT based Smart Management Solution to Realize Water and Energy Savings through Energy Efficiency Measures in Water Distribution Systems,” *2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pp. 1–4, Jun. 2018, doi: 10.1109 / ECAI.2018.8679012.

- [13] S. Bhattacharya, B. Azzopardi, R. Mikalauskiene, V. Jatly, and B. Bartolo, “Energy Water Nexus for a Comfort Maltese Household Using PVs,” *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, pp. 2154–2158, Jun. 2020, doi: 10.1109 / PVSC45281.2020.9300734.
- [14] M. Rouholamini, C. Wang, C. J. Miller, and M. Mohammadian, “A Review of Water/Energy Co-Management Opportunities,” *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, pp. 1–5, Aug. 2018, doi: 10.1109 / PESGM.2018.8586013.
- [15] B. Liner and A. M. Farid, “Extending the utility analysis and integration model at the energy water nexus,” *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*, pp. 1–4, Oct. 2015, doi: 10.1109 / ISC2.2015.7366173.
- [16] E. Casey, S. Beaini, S. Pabi, K. Zammit, and A. Amarnath, “The Triple Bottom Line for Efficiency: Integrating Systems Within Water and Energy Networks,” *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 15, no. 1, pp. 34–42, Jan. 2017, doi: 10.1109/MPE.2016.2629741.
- [17] A. R. Silva, F. Santos, A. Espirito-Santo, J. P. Marques, and C. Fael, “Study of a Water-Energy Integrated System: Challenges of Prototyping,” *2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)*, pp. 1–6, Jul. 2018, doi: 10.1109 / ES2DE.2018.8494315.
- [18] “Comunidades de Energia.” <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/comunidades-de-energia/> (accessed Jun. 08, 2022).
- [19] “Decreto-Lei n.º 15/2022 | DRE.” <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016> (accessed Jun. 08, 2022).
- [20] “Decreto-Lei n.º 162/2019 | DRE.” <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/162-2019-125692189> (accessed Jun. 08, 2022).
- [21] H. Abdulla and A. M. Farid, “Extending the energy-water nexus reference architecture to the sustainable development of agriculture, industry & commerce,” *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*, pp. 1–6, Oct. 2015, doi: 10.1109 / ISC2.2015.7366166.
- [22] A. M. Farid and W. N. Lubega, “Powering & watering agriculture: Application of energy-water nexus planning,” *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 248–253, Oct. 2013, doi: 10.1109 / GHTC.2013.6713689.
- [23] W. N. Lubega and A. M. Farid, “A Reference System Architecture for the Energy–Water Nexus,” *IEEE Systems Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 106–116, Mar. 2016, doi: 10.1109 / JSYST.2014.2302031.

- [24] A. Espirito-Santo, P. Serra, S. Albuquerque, B. Ribeiro, F. Santos, and J. Pascoa, "Low-power smart sensing in energy and water systems integration," *2017 IEEE International Workshop on Measurement and Networking (M&N)*, pp. 1–6, Sep. 2017, doi: 10.1109 / IWMN.2017.8078408.
- [25] K. Oikonomou and M. Parvania, "Deploying Water Treatment Energy Flexibility in Power Distribution Systems Operation," *2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pp. 1–5, Feb. 2020, doi: 10.1109 / ISGT45199.2020.9087721.
- [26] C. Wang, N. Gao, J. Wang, N. Jia, T. Bi, and K. Martin, "Robust Operation of a Water-Energy Nexus: A Multi-Energy Perspective," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 11, no. 4, pp. 2698–2712, Oct. 2020, doi: 10.1109 / TSTE.2020.2971259.
- [27] Q. Li, S. Yu, A. Al-Sumaiti, and K. Turitsyn, "Modeling and Co-Optimization of a Micro Water-Energy Nexus for Smart Communities," *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, pp. 1–5, Oct. 2018, doi: 10.1109 / ISGTEurope.2018.8571840.
- [28] K. S. Ayyagari, S. Wang, N. Gatsis, A. F. Taha, and M. Giacomoni, "Co-Optimization of Interdependent Water and Power Distribution Networks," *2021 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pp. 1–5, Feb. 2021, doi: 10.1109 / ISGT49243.2021.9372197.
- [29] S. Zuloaga and V. Vittal, "Quantifying Power System Operational and Infrastructural Resilience Under Extreme Conditions Within a Water-Energy Nexus Framework," *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, vol. 8, pp. 229–238, 2021, doi: 10.1109 / OAJPE.2021.3084577.
- [30] D. Novitasari, Sarjiya, and R. Budiarto, "Integration Challenges of Climate-Energy-Water-Food Nexus in Indonesia's Power Generation Sector," *2020 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE)*, pp. 35–40, Sep. 2020, doi: 10.1109 / FORTEI-ICEE50915.2020.9249906.
- [31] Y. Xiao, K. W. Hipel, and L. Fang, "A System of Systems Framework for the Water-Energy-Food Nexus," *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, pp. 994–999, Oct. 2019, doi: 10.1109 / SMC.2019.8913946.
- [32] N. M. Kumar, A. Dash, and N. K. Singh, "Internet of Things (IoT): An Opportunity for Energy-Food-Water Nexus," *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, pp. 68–72, Apr. 2018, doi: 10.1109 / PEEIC.2018.8665632.
- [33] I. Energy Agency - IEA, "World Energy Outlook 2016 - Excerpt - Water-Energy Nexus", Accessed: Feb. 09, 2022. [Online]. Available: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)

- [34] S. A. Autores *et al.*, “Controlo Ativo de Perdas de Água. EPAL Technical Editions,” 2017.
- [35] H. Alegre, T. Coelho, M. Do, C. Almeida, and P. Vieira, “Controlo de Perdas de água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição,” 2005.
- [36] “Censos 2021, Portugal.” [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21\\_main&xpid=CENSOS21&xlang=pt](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21_main&xpid=CENSOS21&xlang=pt) (accessed Oct. 28, 2021).
- [37] “Región Centro (Portugal).” <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/245403> (accessed Dec. 01, 2021).
- [38] “Programa Operacional Regional do Centro 2007-2013”, Accessed: Dec. 01, 2021. [Online]. Available: [http://datacentro.ccdrc.pt/Uploads/Docs/QREN\\_Reprogramacao\\_Mais\\_Centro\\_2011.pdf](http://datacentro.ccdrc.pt/Uploads/Docs/QREN_Reprogramacao_Mais_Centro_2011.pdf)
- [39] “Beira Interior (região) – Wikipédia, a enciclopédia livre.” [https://pt.wikipedia.org/wiki/Beira\\_Interior\\_\(região\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Beira_Interior_(região)) (accessed Dec. 01, 2021).
- [40] “Diário Digital Castelo Branco - Aplicação móvel congrega informação turística e cultural da Beira Interior.” <https://www.diariodigitalcastelobranco.pt/noticia/42163/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [41] “Sistema Central – Wikipédia, a enciclopédia livre.” [https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Central](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Central) (accessed Dec. 01, 2021).
- [42] “1.3- Relevo de Portugal - GEO-DINAMICA.” <https://sites.google.com/a/agvv.edu.pt/geo-dinamica/conteudos-temas/80-ano/relevo-1/1-3--relevo-de-portugal> (accessed Dec. 01, 2021).
- [43] “Mapa Hipsométrico (PT-Cont) - Google Earth na Sala de Aula.” <http://www.mapasnasaladeaula.org/mapas-do-projeto/portugal/continental/mapa-hipsometrico> (accessed Dec. 01, 2021).
- [44] “Guia Expresso de Portugal 8-Beira Interior (B. Alta e B. Baixa).” [https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Estudos\\_de\\_Colaboradores/PDF/editoriais/1995\\_Guia\\_Port\\_Beira\\_Interior.pdf](https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Estudos_de_Colaboradores/PDF/editoriais/1995_Guia_Port_Beira_Interior.pdf) (accessed Dec. 01, 2021).
- [45] “IPMA - Mapas.” <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [46] “Estatísticas do Ambiente 2019 (edição 2020).” Accessed: Dec. 01, 2021. [Online]. Available: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107664&selTab=tabo&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107664&selTab=tabo&xlang=pt)

- [47] “Wind Resource Data for Wind Farm Developments | Vortex FDC.” <https://vortexfdc.com/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [48] A. Rita Silva and A. Espírito Santo, “Internal Report to Partners Pilot Installation in Urban Context, Covilhã-Portugal.”
- [49] B. P. Walsh, S. N. Murray, and D. T. J. O’Sullivan, “The water energy nexus, an ISO50001 water case study and the need for a water value system,” *Water Resources and Industry*, vol. 10, pp. 15–28, Jun. 2015, doi: 10.1016/J.WRI.2015.02.001.
- [50] M. R. Teixeira, P. Mendes, E. Murta, and L. M. Nunes, “Performance indicators matrix as a methodology for energy management in municipal water services,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 125, pp. 108–120, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.016.
- [51] “ISO 50001:2018,” *Energy management systems – Requirements with guidance for use*, 2018. <https://www.iso.org/standard/69426.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [52] “ISO 50006:2014,” *Energy management systems – Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) – General principles and guidance*, 2014. <https://www.iso.org/standard/51869.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [53] “ISO 50046:2019,” *General methods for predicting energy savings*, 2019. <https://www.iso.org/standard/67790.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [54] “ISO 50047:2016,” *Energy savings – Determination of energy savings in organizations*, 2016. <https://www.iso.org/standard/51910.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [55] “ISO 50049:2020,” *Calculation methods for energy efficiency and energy consumption variations at country, region and city levels*, 2020. <https://www.iso.org/standard/68581.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [56] “ISO 17741:2016,” *General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects*, 2016. <https://www.iso.org/standard/60373.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [57] “ISO 17742:2015,” *Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities*, 2015. <https://www.iso.org/standard/60374.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [58] “ISO 17743:2016,” *Energy savings – Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings*, 2016. <https://www.iso.org/standard/60376.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).

- [59] “ISO 37101:2016,” *Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use*, 2016. <https://www.iso.org/standard/61885.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [60] “ISO 37122:2019,” *Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities*, 2019. <https://www.iso.org/standard/69050.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [61] “ISO 37123:2019,” *Sustainable cities and communities – Indicators for resilient cities*, 2019. <https://www.iso.org/standard/70428.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [62] “ISO/TR 37150:2014,” *Smart community infrastructures – Review of existing activities relevant to metrics*, 2014. <https://www.iso.org/standard/62564.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [63] “ISO/TS 37151:2015,” *Smart community infrastructures – Principles and requirements for performance metrics*, 2015. <https://www.iso.org/standard/61057.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [64] “ISO/TR 37152:2016,” *Smart community infrastructures – Common framework for development and operation*, 2016. <https://www.iso.org/standard/66898.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [65] “ISO 37153:2017,” *Smart community infrastructures – Maturity model for assessment and improvement*, 2017. <https://www.iso.org/standard/69225.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [66] “ISO 37156:2020,” *Smart community infrastructures – Guidelines on data exchange and sharing for smart community infrastructures*, 2020. <https://www.iso.org/standard/69242.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [67] “ISO 37160:2020,” *Smart community infrastructure – Electric power infrastructure – Measurement methods for the quality of thermal power infrastructure and requirements for plant operations and management*, 2020. <https://www.iso.org/standard/69246.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [68] “ISO 37166:2022,” *Smart community infrastructures – Urban data integration framework for smart city planning (SCP)*, 2022. <https://www.iso.org/standard/69252.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [69] “ISO/DIS 37170,” *Smart community infrastructures – Data framework for infrastructure governance based on digital technology in smart cities*. <https://www.iso.org/standard/79070.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [70] “ISO 46001:2019,” *Water efficiency management systems – Requirements with guidance for use*, 2019. <https://www.iso.org/standard/68286.html> (accessed Jun. 03, 2022).

- [71] “ISO 24510:2007,” *Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users*, 2007. <https://www.iso.org/standard/37246.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [72] “ISO 24523:2017,” *Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater systems – Guidelines for benchmarking of water utilities*, 2017. <https://www.iso.org/standard/59814.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [73] “ISO 24528:2021,” *Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems – Guideline for a water loss investigation of drinking water distribution networks*, 2021. <https://www.iso.org/standard/59819.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [74] “ISO/CD 24591-1,” *Smart water management – Part 1: General guidelines and governance*. <https://www.iso.org/standard/79033.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [75] “ISO 9488:2022,” *Solar energy – Vocabulary*, 2022. <https://www.iso.org/standard/74269.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [76] “9459-1:1993,” *Solar heating – Domestic water heating systems – Part 1: Performance rating procedure using indoor test methods*, 1993. <https://www.iso.org/standard/17186.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [77] “ISO 24194:2022,” *Solar energy – Collector fields – Check of performance*, 2022. <https://www.iso.org/standard/78074.html?browse=tc> (accessed Jun. 03, 2022).
- [78] “ISO/TC 205,” *Building environment design*. <https://www.iso.org/committee/54740.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [79] “ISO 17800:2017,” *Facility smart grid information model*, 2017. <https://www.iso.org/standard/71547.html> (accessed Apr. 18, 2022).
- [80] “ISO/TC 205,” *Building environment design*. <https://www.iso.org/committee/54740/x/catalogue/p/1/u/o/w/o/d/o> (accessed Jun. 06, 2022).
- [81] “ISO 11855-2:2021,” *Building environment design – Embedded radiant heating and cooling systems – Part 2: Determination of the design heating and cooling capacity*, 2021. <https://www.iso.org/standard/74683.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [82] “ISO 11855-4:2021,” *Building environment design – Embedded radiant heating and cooling systems – Part 4: Dimensioning and calculation of the dynamic heating and cooling capacity of Thermo Active Building Systems (TABS)*, 2021. <https://www.iso.org/standard/74686.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).

- [83] “ISO 11855-5:2021,” *Building environment design — Embedded radiant heating and cooling systems — Part 5: Installation*, 2021. <https://www.iso.org/standard/74685.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [84] “ISO 11855-6:2018,” *Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems — Part 6: Control*, 2018. <https://www.iso.org/standard/64999.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [85] “ISO 13612-1:2014,” *Heating and cooling systems in buildings — Method for calculation of the system performance and system design for heat pump systems — Part 1: Design and dimensioning*, 2014. <https://www.iso.org/standard/54085.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [86] “ISO 13612-2:2014,” *Heating and cooling systems in buildings — Method for calculation of the system performance and system design for heat pump systems — Part 2: Energy calculation*, 2014. <https://www.iso.org/standard/57943.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [87] “ISO 16484-1:2010,” *Building automation and control systems (BACS) — Part 1: Project specification and implementation*, 2010. <https://www.iso.org/standard/37300.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [88] “IEEE SA - IEEE 2413-2019,” 2020. <https://standards.ieee.org/ieee/2413/6226/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [89] “IEEE SA - P2413.2,” 2019. <https://standards.ieee.org/ieee/2413.2/7719/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [90] “IEEE SA - IEEE 1827-2016,” 2017. <https://standards.ieee.org/ieee/1827/4917/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [91] “IEEE SA - P2886,” 2020. <https://standards.ieee.org/ieee/2886/10305/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [92] “ISO 14001:2015,” *Environmental management systems — Requirements with guidance for use*, 2015. <https://www.iso.org/standard/60857.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [93] “ISO 14046:2014,” *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*, 2014. <https://www.iso.org/standard/43263.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [94] “ISO/TR 14073:2017,” *Environmental management — Water footprint — Illustrative examples on how to apply ISO 14046*, 2017. <https://www.iso.org/standard/72264.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).

- [95] “ISO 16075-1:2020,” *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 1: The basis of a reuse project for irrigation*, 2020. <https://www.iso.org/standard/73482.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [96] “ISO 20419:2018,” *Treated wastewater reuse for irrigation – Guidelines for the adaptation of irrigation systems and practices to treated wastewater*, 2018. <https://www.iso.org/standard/67959.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [97] “ISO/TC 282/SC 1,” *Treated wastewater reuse for irrigation*. <https://www.iso.org/committee/5148678/x/catalogue/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [98] “ISO/TC 282/SC 2,” *Water reuse in urban areas*. <https://www.iso.org/committee/5261836/x/catalogue/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [99] “ISO 20760-1:2018,” *Water reuse in urban areas – Guidelines for centralized water reuse system – Part 1: Design principle of a centralized water reuse system*, 2018. <https://www.iso.org/standard/68987.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [100] “ISO 23056:2020,” *Water reuse in urban areas – Guidelines for decentralized/onsite water reuse system – Design principles of a decentralized/onsite system*, 2020. <https://www.iso.org/standard/74466.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [101] “ISO/TC 282/SC 3,” *Risk and performance evaluation of water reuse systems*. <https://www.iso.org/committee/5261857/x/catalogue/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [102] “ISO 20468-1:2018,” *Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems – Part 1: General*, 2018. <https://www.iso.org/standard/68137.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [103] “ISO 20426:2018,” *Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse*, 2018. <https://www.iso.org/standard/67972.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [104] “ISO/TC 282/SC 4,” *Industrial water reuse*. <https://www.iso.org/committee/6215620/x/catalogue/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [105] “ISO 21939-1:2019,” *A method to calculate and express energy consumption of industrial wastewater treatment for the purpose of water reuse – Part 1: Biological processes*, 2019. <https://www.iso.org/standard/72252.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [106] “ISO 22447:2019,” *Industrial wastewater classification*, 2019. <https://www.iso.org/standard/73237.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).

- [107] “ISO 23044:2020,” *Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse*, 2020. <https://www.iso.org/standard/74377.html?browse=tc> (accessed Jun. 06, 2022).
- [108] “ISO/TC 147,” *Water quality*. <https://www.iso.org/committee/52834.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [109] “ISO/TC 113,” *Hydrometry*. <https://www.iso.org/committee/51678.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [110] “ISO/TC 30,” *Measurement of fluid flow in closed conduits*. <https://www.iso.org/committee/47576.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [111] “ISO/TC 138,” *Plastics pipes, fittings and valves for the transport of fluids*. <https://www.iso.org/committee/52500.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [112] “ISO/TC 5/SC 2,” *Cast iron pipes, fittings and their joints*. <https://www.iso.org/committee/45612.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [113] “ISO/TC 153,” *Valves*. <https://www.iso.org/committee/53156.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [114] A. Siddiqi, A. Kajenthira, and L. D. Anadón, “Bridging decision networks for integrated water and energy planning,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 2, no. 1, pp. 46–58, Jun. 2013, doi: 10.1016/J.ESR.2013.02.003.
- [115] T. Ding, L. Liang, K. Zhou, M. Yang, and Y. Wei, “Water-energy nexus: The origin, development and prospect,” *Ecological Modelling*, vol. 419, p. 108943, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.ECOLMODEL.2020.108943.
- [116] J. L. Fan, L. S. Kong, H. Wang, and X. Zhang, “A water-energy nexus review from the perspective of urban metabolism,” *Ecological Modelling*, vol. 392, pp. 128–136, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.ECOLMODEL.2018.11.019.
- [117] A. M. Hamiche, A. B. Stambouli, and S. Flazi, “A review of the water-energy nexus,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 65, pp. 319–331, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2016.07.020.
- [118] X. C. Wang, P. Jiang, L. Yang, Y. van Fan, J. J. Klemeš, and Y. Wang, “Extended water-energy nexus contribution to environmentally-related sustainable development goals,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 150, p. 111485, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111485.
- [119] “ISO 17741:2016,” *General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects*, 2016. <https://www.iso.org/standard/60373.html?browse=tc> (accessed Apr. 12, 2022).
- [120] “ISO 17743:2016,” *Energy savings — Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings*, 2016. <https://www.iso.org/standard/60376.html?browse=tc> (accessed Apr. 12, 2022).

- [121] “ISO 17742:2015,” *Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities*, 2015. <https://www.iso.org/standard/60374.html?browse=tc> (accessed Apr. 12, 2022).
- [122] A. McKane, T. Daya, and G. Richards, “Improving the relevance and impact of international standards for global climate change mitigation and increased energy access,” *Energy Policy*, vol. 109, pp. 389–399, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENPOL.2017.06.064.
- [123] “ISO 14046:2014,” *Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines*, 2014. <https://www.iso.org/standard/43263.html?browse=tc> (accessed Apr. 12, 2022).
- [124] “ISO,” *No more waste - Tracking water footprints*. <https://www.iso.org/news/2013/07/Ref1760.html> (accessed Apr. 12, 2022).
- [125] W. Chen *et al.*, “Environmental sustainability challenges of China’s steel production: Impact-oriented water, carbon and fossil energy footprints assessment,” *Ecological Indicators*, vol. 136, p. 108660, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2022.108660.
- [126] E. Aivazidou, N. Tsolakis, E. Iakovou, and D. Vlachos, “The emerging role of water footprint in supply chain management: A critical literature synthesis and a hierarchical decision-making framework,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 137, pp. 1018–1037, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.210.
- [127] A. Y. Hoekstra, “A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA,” *Ecological Indicators*, vol. 66, pp. 564–573, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2016.02.026.
- [128] X. Ma *et al.*, “Energy and carbon coupled water footprint analysis for straw pulp paper production,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 233, pp. 23–32, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.069.
- [129] “IEEE SA - IEEE 2413-2019,” 2020. <https://standards.ieee.org/ieee/2413/6226/> (accessed Apr. 13, 2022).
- [130] “IEEE SA - P2413.1,” 2018. <https://standards.ieee.org/ieee/2413.1/7331/> (accessed Apr. 14, 2022).
- [131] “IEEE SA - P2413.2,” 2019. <https://standards.ieee.org/ieee/2413.2/7719/> (accessed Apr. 14, 2022).
- [132] “ISO/IEC 30101:2014,” *Information technology – Sensor networks: Sensor network and its interfaces for smart grid system*, 2014. <https://www.iso.org/standard/53221.html> (accessed Apr. 18, 2022).
- [133] “ISO/IEC 30101:2014,” *Preview, Information technology – Sensor networks: Sensor network and its interfaces for smart grid system*, 2014.

- <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30101:ed-1:v1:en> (accessed Apr. 18, 2022).
- [134] M. Faheem *et al.*, “Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges,” *Computer Science Review*, vol. 30, pp. 1–30, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.COSREV.2018.08.001.
- [135] “ISO 37101:2016,” *Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use*, 2016. <https://www.iso.org/standard/61885.html> (accessed Apr. 15, 2022).
- [136] A. Qazi *et al.*, “Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 63837–63851, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906402.
- [137] M. K. H. Rabaia *et al.*, “Environmental impacts of solar energy systems: A review,” *Science of The Total Environment*, vol. 754, p. 141989, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.141989.
- [138] “IEEE SA - IEEE 1827-2016,” 2017. <https://standards.ieee.org/ieee/1827/4917/> (accessed May 12, 2022).
- [139] J. Jurasz, F. A. Canales, A. Kies, M. Guezgouz, and A. Beluco, “A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions,” *Solar Energy*, vol. 195, pp. 703–724, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.SOLENER.2019.11.087.
- [140] A. Q. Al-Shetwi, M. A. Hannan, K. P. Jern, M. Mansur, and T. M. I. Mahlia, “Grid-connected renewable energy sources: Review of the recent integration requirements and control methods,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 253, p. 119831, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.119831.
- [141] S. R. Sinsel, R. L. Riemke, and V. H. Hoffmann, “Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review,” *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 2271–2285, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.06.147.
- [142] A. Pfeifer, V. Dobravec, L. Pavlinek, G. Krajačić, and N. Duić, “Integration of renewable energy and demand response technologies in interconnected energy systems,” *Energy*, vol. 161, pp. 447–455, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.07.134.
- [143] N. Javaid, G. Hafeez, S. Iqbal, N. Alrajeh, M. S. Alabed, and M. Guizani, “Energy Efficient Integration of Renewable Energy Sources in the Smart Grid for Demand Side Management,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 77077–77096, Aug. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2866461.

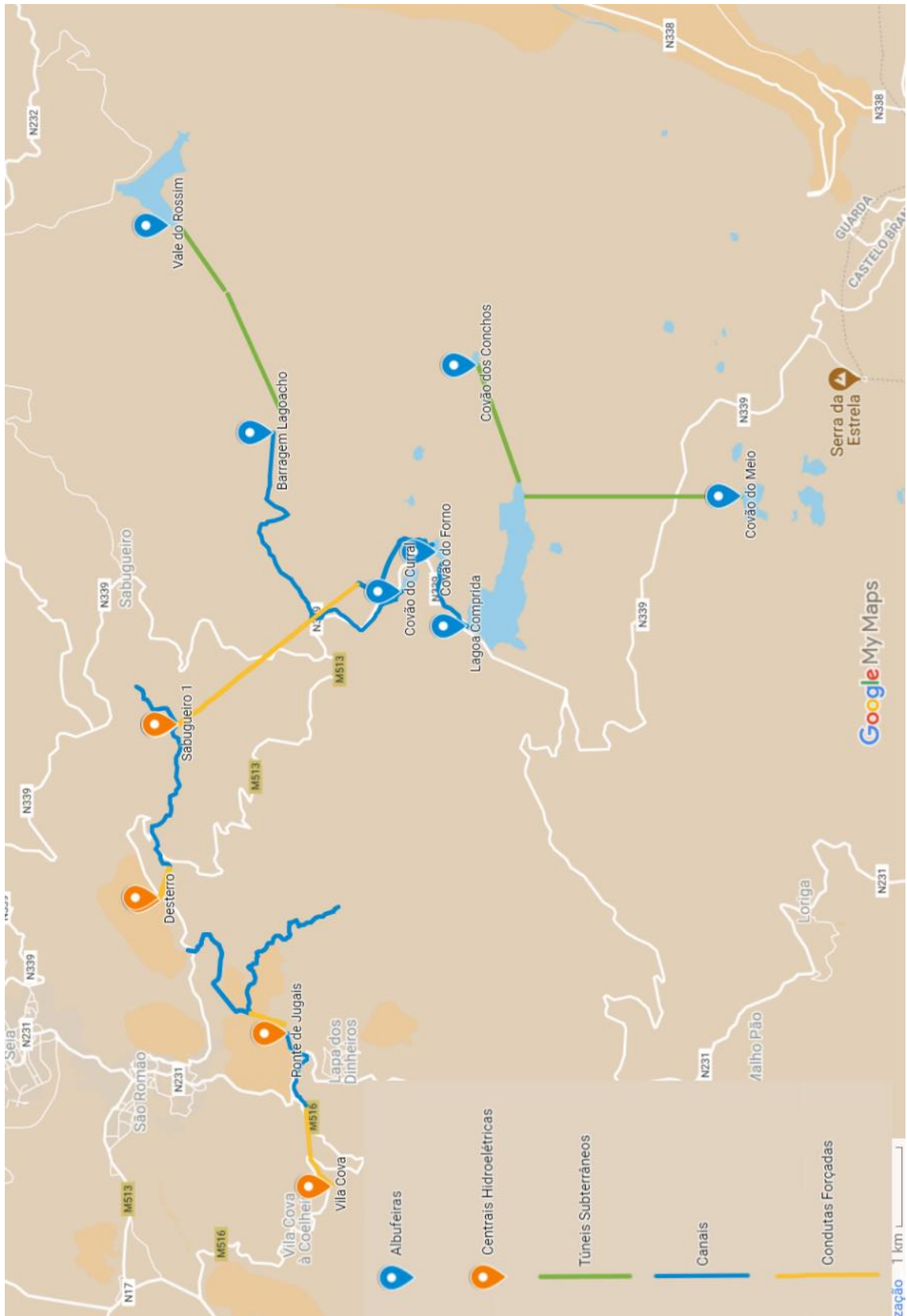
- [144] S. Ould Amrouche, D. Rekioua, T. Rekioua, and S. Bacha, “Overview of energy storage in renewable energy systems,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 45, pp. 20914–20927, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2016.06.243.
- [145] Y. Chen, K. Jia, B. Liu, G. Yan, D. Wang, and C. Li, “Energy management method applying in Integrated Energy System,” *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, DRPT 2015*, pp. 1565–1569, Mar. 2016, doi: 10.1109/DRPT.2015.7432488.
- [146] J. Dudiak and M. Kolcun, “Integration of renewable energy sources to the power system,” *2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2014 - Conference Proceedings*, pp. 148–151, 2014, doi: 10.1109/IEEEIC.2014.6835854.
- [147] S. Mishra, G. Saini, S. Saha, A. Chauhan, A. Kumar, and S. Maity, “A survey on multi-criterion decision parameters, integration layout, storage technologies, sizing methodologies and control strategies for integrated renewable energy system,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102246, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102246.
- [148] A. Jindal, A. K. Marnerides, A. Gouglidis, A. Mauthe, and D. Hutchison, “Communication Standards for Distributed Renewable Energy Sources Integration in Future Electricity Distribution Networks,” *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, vol. 2019-May, pp. 8390–8393, May 2019, doi: 10.1109/ICASSP.2019.8682207.
- [149] L. Yan, C. Yongning, T. Haiyan, T. Xinshou, Z. Zhankui, and J. Jianqing, “Common Focus and New Requirement on Technical Standards of Renewable Energy Grid Integration,” *Proceedings - 2019 Chinese Automation Congress, CAC 2019*, pp. 3719–3723, Nov. 2019, doi: 10.1109/CAC48633.2019.8996943.
- [150] “ISO 24528:2021,” *Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems – Guideline for a water loss investigation of drinking water distribution networks*, 2021. <https://www.iso.org/standard/59819.html> (accessed May 24, 2022).
- [151] “ISO 24523:2017,” *Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater systems – Guidelines for benchmarking of water utilities*, 2017. <https://www.iso.org/standard/59814.html> (accessed May 25, 2022).

- [152] “ISO/TR 37150:2014,” *Smart community infrastructures — Review of existing activities relevant to metrics*, 2014. <https://www.iso.org/standard/62564.html> (accessed Apr. 14, 2022).
- [153] “Smart community infrastructures Lessons learned International Organization for Standardization”.
- [154] “ISO 37156:2020,” *Smart community infrastructures — Guidelines on data exchange and sharing for smart community infrastructures*, 2020. <https://www.iso.org/standard/69242.html> (accessed Apr. 18, 2022).
- [155] “ISO 37166:2022,” *Smart community infrastructures — Urban data integration framework for smart city planning (SCP)*, 2022. <https://www.iso.org/standard/69252.html?browse=tc> (accessed Apr. 18, 2022).
- [156] “ISO/IEC 30182:2017,” *Smart city concept model — Guidance for establishing a model for data interoperability*, 2017. <https://www.iso.org/standard/53302.html> (accessed May 25, 2022).
- [157] “ISO/DIS 37170,” *Smart community infrastructures — Data framework for infrastructure governance based on digital technology in smart cities*. <https://www.iso.org/standard/79070.html> (accessed Apr. 18, 2022).
- [158] “ISO/DIS 37170,” *Preview, Smart community infrastructures — Data framework for infrastructure governance based on digital technology in smart cities*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37170:dis:ed-1:v1:en> (accessed Apr. 18, 2022).
- [159] “ISO/TC 282/SC 1,” *Treated wastewater reuse for irrigation*. <https://www.iso.org/committee/5148678/x/catalogue/> (accessed Apr. 19, 2022).
- [160] A. Rebelo, M. Quadrado, A. Franco, N. Lacasta, and P. Machado, “Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization,” *Water Cycle*, vol. 1, pp. 41–53, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.WATCYC.2020.05.006.
- [161] “ISO/TC 282/SC 2,” *Water reuse in urban areas*. <https://www.iso.org/committee/5261836.html> (accessed Apr. 19, 2022).
- [162] “ISO/TC 282/SC 3,” *Risk and performance evaluation of water reuse systems*. <https://www.iso.org/committee/5261857/x/catalogue/p/1/u/o/w/o/d/o> (accessed Apr. 19, 2022).
- [163] H. Takeuchi and H. Tanaka, “Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives,” *Water Cycle*, vol. 1, pp. 1–12, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.WATCYC.2020.05.001.
- [164] “ISO/TC 282/SC 4,” *Industrial water reuse*. <https://www.iso.org/committee/6215620.html> (accessed Apr. 19, 2022).

- [165] “ISO/TC 282/SC 4,” *Industrial water reuse - Catalogue*. <https://www.iso.org/committee/6215620/x/catalogue/p/1/u/o/w/o/d/o> (accessed Apr. 19, 2022).
- [166] “ISO/TC 275,” *Sludge recovery, recycling, treatment and disposal*. <https://www.iso.org/committee/4493530.html> (accessed May 06, 2022).
- [167] “ISO 50001 Energy management systems-PUB.” [Online]. Available: [www.climateworks.org/portfolios/energy-efficiency](http://www.climateworks.org/portfolios/energy-efficiency)
- [168] “ISO - ISO 50001 — Energy management.” <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html> (accessed May 16, 2022).
- [169] K. Szajdzicki, “Measuring & maintaining energy efficiency: SMART approach to implementing ISO 50001,” *Conference Proceedings - 2017 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2017*, Jul. 2017, doi: 10.1109/IEEEIC.2017.7977657.
- [170] A. McKane, T. Daya, and G. Richards, “Improving the relevance and impact of international standards for global climate change mitigation and increased energy access,” *Energy Policy*, vol. 109, pp. 389–399, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENPOL.2017.06.064.
- [171] T. Voltz and T. Grischek, “Energy management in the water sector – Comparative case study of Germany and the United States,” *Water-Energy Nexus*, vol. 1, no. 1, pp. 2–16, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.WEN.2017.12.001.
- [172] “ISO - ISO 46001:2019,” *Water efficiency management systems — Requirements with guidance for use*, 2019. <https://www.iso.org/standard/68286.html> (accessed May 25, 2022).
- [173] “O ciclo urbano da água.” <https://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/o-ciclo-urbano-da-agua/?id=28> (accessed Feb. 07, 2022).
- [174] Adene and Ersar, “Guia Técnico N°24 - Uso Eficiente de Energia nos Serviços de Água,” 2018.
- [175] T. K. Chan, C. S. Chin, and X. Zhong, “Review of Current Technologies and Proposed Intelligent Methodologies for Water Distributed Network Leakage Detection,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 78846–78867, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2885444.
- [176] “SePem 100 / 150 | Sewerin.” <https://www.sewerin.com/pt/produtos/agua/logger-de-ruídos/sepem-100-150> (accessed Jun. 13, 2022).
- [177] “Detecção Fugas Água - Bricotec24.” [https://bricotec24.com/cp-deteccao-fugas-agua/?pk\\_campaign=adwords&gclid=CjoKCQjwwJuVBhCAARIsAOPwGATuBi](https://bricotec24.com/cp-deteccao-fugas-agua/?pk_campaign=adwords&gclid=CjoKCQjwwJuVBhCAARIsAOPwGATuBi)

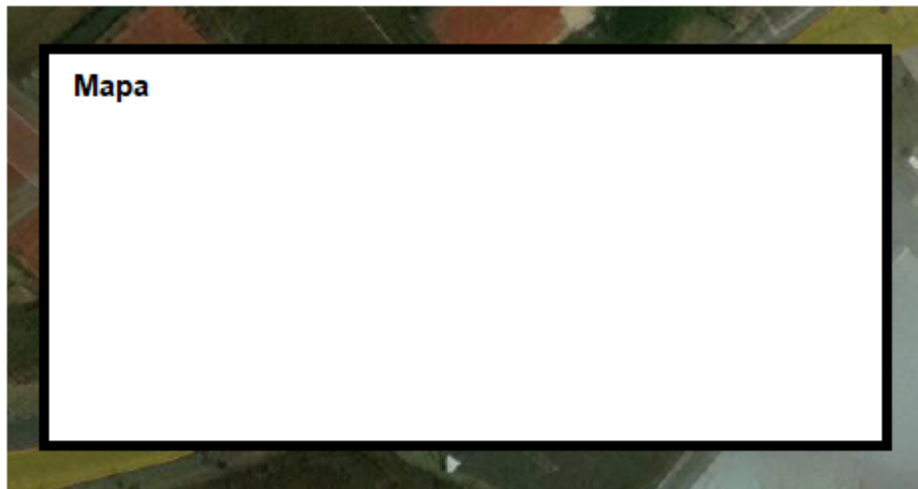
- Cv7w5Bi3rr7eZUllv3INMmN81OMuwd8mXSOo1zuRAuqOxZjgIaApf\_EALw\_w  
cB (accessed Jun. 14, 2022).
- [178] “Como detectar vazamentos sem quebrar - TECSAN.”  
<https://www.tecsansp.com.br/blog/como-detectar-vazamentos-sem-quebrar>  
(accessed Jun. 13, 2022).
- [179] “ASTERRA: Underground infrastructure analysis.” <https://asterra.io/> (accessed  
Feb. 23, 2022).
- [180] “SeCorrPhon ® AC 200.”
- [181] “Aquaphon ® A200 GNSS.” [Online]. Available: [www.sewerin.pt](http://www.sewerin.pt)
- [182] “SePem ® 100 e SePem ® 150.” [Online]. Available: [www.sewerin.pt](http://www.sewerin.pt)
- [183] “KPIs Fit for Purpose | LEAKSSuite Library.”  
<https://www.leakssuitelibrary.com/kpis-fit-for-purpose/> (accessed Mar. 21,  
2022).
- [184] A. O. Lambert, T. G. Brown, M. Takizawa, and D. Weimer, “A Review of  
Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems”.
- [185] “UURL and ILI | LEAKSSuite Library.” [https://www.leakssuitelibrary.com/uurl-  
and-ili/](https://www.leakssuitelibrary.com/uurl-and-ili/) (accessed Mar. 29, 2022).

## 8. Apêndice I



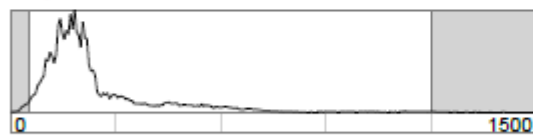


## 9. Apêndice II



Detalhes		Comentário
Microfone:	BM 200	.
Material:	PE	
Superfície:	Pavimento	Nota
Duração da medição [min]:	00:10	
Volume [%]:	58,0	
Nível de ruído:	521	
Método:	f RMS	
Tipo:	MIN	
Limites de filtragem [Hz]:	50   1200	
Suspeita de fuga:	Sim	

Análise da frequência:



....., 13/06/2022  
Local, Data Assinatura

© WaterCom | www.sewerIn.com