

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor José Vieira, pelos experientes conselhos, prudentes advertências e por me mostrar que a investigação é fruto de constantes dúvidas, decisões e superações.

Aos professores Lino Costa, Teresa Monteiro e Ismael Vaz do Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, que me batizaram de "aluna adotiva" e aos quais estou grata por toda a ajuda e pela total disponibilidade mesmo durante horas de almoço ou férias.

Por me incentivarem a continuar, por acreditarem nas minhas capacidades, por tudo que me ensinaram, pela paciência e pela boa disposição.

Foram, realmente, os padrinhos desta dissertação.

À Eng<sup>a</sup> Cristiana Barbosa, ao Pedro Barbosa e ao Jorge Lopes do centro operacional do SAV, pela receção e tratamento com a maior dedicação, pelas respostas e auxílio na tomada de decisões fulcrais. Fico agradecida por estarem presentes até ao final.

Às Câmaras Municipais dos municípios do noroeste, às empresas Indaqua, Esposende Ambiente e Águas de Barcelos, ao INE e à equipa técnica da *Weather Underground*.

Ao Hélder Costa pelo exemplo de referência, por todo o incentivo, conselhos, críticas construtivas, respostas oportunas e pelo espírito de iniciativa e de superação transmitido.

Aos meus pais e família pelo orgulho que depositaram em mim, pelo amparo e educação, por terem sempre uma solução e por me mostrarem a importância do esforço e da luta na vida.

Espero nunca os desiludir e enfrentar os obstáculos de cabeça erguida.

À minha avó Alice, a estrela que me guia de manhã à noite.

À Belinha, a quem agradeço simplesmente por existir e por ser mais do que uma amiga. Por ser um pilar, uma força descomunal, fonte de coragem e determinação em tudo. Pelas palavras diretas, certeiras, gargalhadas, choros e conselhos. Por me levar, para longe ou perto, na palma da mão.

Ao meu enorme ombro amigo João, pelo amparo nas dificuldades, pelo acalmar das minhas preocupações e pela compreensão sem uma simples palavra.

A ambos fico grata por me completarem e tomarem conta de mim.

À minha madrinha Liliana, de quem me orgulho e cujo exemplo tento seguir.

Pelos trabalhos, conselhos, pela proximidade constante e por me mostrar que tudo é possível com dedicação e coragem.

As palavras são simples mas mostram o meu agradecimento aos que nunca me deixaram desistir e fizeram valer todos os momentos. Cada um deles sabe que me ofereceu um abraço de apoio e uma palavra de força.

Porque os obstáculos que ultrapassamos e as batalhas que vencemos tornam-nos mais fortes.

# **Impacto de variáveis meteorológicas nos padrões de consumo de água no noroeste de Portugal**

## **RESUMO**

Na conjuntura atual, é da maior importância a definição de planos estratégicos no respeitante aos sistemas de abastecimento de água, garantindo a regularização na distribuição da mesma e uma melhor gestão dos recursos hídricos. A projeção dos consumos de água é um grande fator de ponderação na atividade das entidades responsáveis, permitindo uma gestão da água integrada e flexível a ocorrências naturais ou operacionais.

A variação meteorológica surge como um dos fatores de maior influência no comportamento dos consumos de água. A relação entre ambos os parâmetros permite tirar ilações sobre o impacto causado pela variação da temperatura, da humidade relativa do ar e da precipitação sobre os volumes de água consumidos em dada região.

O presente estudo tem em vista a concretização de modelos de projeção de consumos de água com base em variáveis meteorológicas. A amostra estatística assenta em dados cronológicos de volumes de água facultados pela concessionária Águas do Noroeste e em registos meteorológicos referentes à temperatura, humidade relativa do ar e precipitação. No decorrer da investigação foi realizada uma análise estatística individual das variáveis envolvidas e do grau de relacionamento das mesmas entre si. A sua interpretação permitiu estabelecer o contraste entre os diversos municípios do noroeste.

O método de projeção adotado foi a regressão linear múltipla, o que proporcionou uma análise comparativa final com o estudo de Costa (2012), aplicado à região do Algarve. A comparação entre os comportamentos de consumos de água, as variações meteorológicas e os modelos de projeção concretizados para ambas as regiões possibilitou um conjunto de conclusões, nomeadamente, sobre a evolução dos consumos *per capita* e a influência das variáveis meteorológicas nos consumos de água no norte e no sul de Portugal.

**Palavras-Chave:** Séries Cronológicas de Consumos de Água; Variáveis meteorológicas; Modelos de Projeção de Consumos de Água; Consumos *Per Capita* de Água



# **The impact of meteorological variables on the water consumption patterns in the northwest Portugal**

## **ABSTRACT**

At the present juncture it's of the utmost importance to define strategic plans regarding water supply systems, to ensure the regularization of water distribution and a better management of water resources. The projection of water consumption has a strong weighting in the activity of the responsible entities, allowing an integrated management of water and flexible to occurrences of natural or operational water.

The weather variation emerges as one of the factors with the greatest influence on the behavior of water consumption. The relation between both parameters allows the drawing of conclusions on the impact caused by the variation of temperature, relative humidity and rainfall on the volumes of water consumed in a given region.

This study aims at the realization of projection models for water consumption based on meteorological variables. The statistical sample is based on chronological data of volumes of water, provided by the dealership Águas do Noroeste and in meteorological records of temperature, relative humidity and rainfall. During the investigation, an individual statistical analysis of the variables involved and the degree of relationship between them was made. Its interpretation allowed to establish the contrast between the different regions of the Northwest.

The projection method used was multiple linear regression, which provided a final comparative analysis with the study of Costa (2012), applied to region of the Algarve. The comparison between the behaviors of water consumption, weather variations and the projection models implemented for both regions allowed a number of conclusions, particularly on the evolution of water consumption *per capita* and the influence of meteorological variables on water consumption in the northern and southern Portugal.

**Key Words:** Time Series of Water Consumption; Meteorological Variables; Water Consumption Forecasting Models; *Per Capita* Water Consumption.



*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.*

Madre Teresa de Calcutá

*Aprender com os eventos e desenvolvimentos do passado e usar esse conhecimento para tomar decisões com relação ao futuro. Analisar o que se sabe sobre as tendências e inovações atuais para pensar de forma construtiva e estratégica, o que por sua vez ajuda a atingir objetivos.*

Mclean, 2007





---

**ÍNDICE**

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento Geral.....	1
1.2	Objetivos .....	2
1.3	Estrutura e conteúdo da dissertação .....	3
2	Estado da Arte.....	5
2.1	Fatores Influenciadores do Consumo de Água .....	5
2.1.1	Alterações climáticas .....	5
2.1.2	Sazonalidade .....	6
2.1.3	Variáveis meteorológicas .....	7
2.2	Técnicas de análise estatística de dados.....	11
2.2.1	Análise de séries cronológicas .....	11
2.2.2	Método da correlação.....	12
2.2.3	Diagramas de dispersão e diagramas em caixa.....	13
2.2.4	Testes estatísticos.....	14
2.3	Modelos de projeção de consumos de água .....	15
2.3.1	Modelos de regressão simples e múltipla .....	16
2.3.2	Modelos de regressão não linear.....	19
2.3.3	Modelação em cascata .....	20
2.3.4	Redes neuronais artificiais .....	21
2.3.5	Análise comparativa de modelos de projeção.....	22
3	Universo Amostral.....	25
3.1	Região Norte .....	25
3.1.1	Localização e descrição geográfica.....	25
3.1.2	População.....	26
3.1.3	Caraterização climática .....	26

3.2	Águas do Noroeste.....	27
3.2.1	Origem e objetivos .....	27
3.2.2	Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Noroeste.....	28
3.2.3	Subsistema Multimunicipal de Abastecimento de Água de Areias de Vilar.....	29
3.3	Rede de Estações Meteorológicas .....	32
3.3.1	Plataforma Weather Underground.....	32
3.3.2	Seleção das PWS e definição das séries meteorológicas.....	34
4	Tratamento dos Dados Cronológicos .....	37
4.1	Pressupostos Iniciais e Processos de Tratamento .....	37
4.2	Séries Cronológicas De Dados Meteorológicos .....	38
4.2.1	Análise comparativa das PWS selecionadas .....	38
4.2.2	Análise de dados meteorológicos da PWS da Trofa .....	43
4.3	Séries Cronológicas de Dados de Consumos de Água .....	47
4.3.1	Análise de dados de consumos médios diários de água .....	47
4.3.2	Análise de dados de consumos médios mensais de água .....	50
4.3.3	Índices sazonais dos consumos médios mensais de água.....	51
5	Análise Estatística Bivariada.....	55
5.1	Correlações entre Variáveis Meteorológicas e Consumos médios diários de Água .....	55
5.1.1	Correlação entre parâmetros de temperatura e consumos médios diários de água ..	56
5.1.2	Correlação entre parâmetros de humidade relativa e consumos médios diários de água .....	58
5.1.3	Correlação entre parâmetros de precipitação e consumos médios diários de água ..	59
5.2	Correlações entre Variáveis Meteorológicas e Consumos Médios Mensais de Água ...	61
5.2.1	Correlação entre parâmetros de temperatura e consumos médios mensais de água	62
5.2.2	Correlação entre parâmetros de humidade relativa e consumos médios diários de água .....	63

---

5.2.3	Correlação entre parâmetros de precipitação e consumos médios diários de água	65
5.3	Modelos de Regressão Simples	67
5.3.1	Modelos de regressão simples diários	68
5.3.2	Modelos de regressão simples mensais	68
5.4	Ilações sobre a análise estatística bivariada	69
5.5	Índices Meteorológicos	70
5.5.1	Índices meteorológicos relativos a consumos diários de água	70
5.5.2	Índices meteorológicos relativos a consumos mensais de água	73
6	Modelos de Projeção de Consumos de Água	77
6.1	Estratégia de Abordagem	77
6.1.1	Modelos de Regressão Linear Múltipla	77
6.1.2	Pressupostos de aplicação dos modelos de regressão linear múltipla	78
6.2	Modelos de projeção de consumos diários de água	78
6.3	Modelos de projeção de consumos mensais de água	80
6.4	Análise Estatística dos Modelos de Projeção de Consumos de Água	80
6.5	Validação dos Modelos de Projeção de Consumos de Água	83
6.5.1	Validação dos modelos de projeção de consumos médios diários de água	83
6.5.2	Validação dos modelos de projeção de consumos médios mensais de água	86
7	Estudo Comparativo com Região de Clima Mediterrânico	91
7.1	Caraterísticas Climáticas	91
7.2	Características geográficas e demográficas	93
7.3	Consumos de Água Municipais	95
7.4	Evolução dos Consumos <i>Per Capita</i> de Água	99
7.5	Grau de Relacionamento entre Variáveis	105
7.6	Analogia Entre os Modelos de Projeção de Consumos de água	106
8	Considerações finais	109

8.1 Conclusões.....	109
8.2 Recomendações Para Trabalhos Posteriores .....	115
Referências Bibliográficas .....	117
Lista de Endereços dos Sites Consultados .....	125
Anexos .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Exemplificação de diagramas em caixa (retirado de Montgomery & Runger, 2003) .....	13
<b>Figura 2.2</b> Diagrama de dispersão de utilização da água sazonal e temperatura média semanal. ....	14
<b>Figura 2.3</b> Dados estimados e observados (retirado de Yasar, Bilgili & Simsek, 2012) .....	20
<b>Figura 2.4</b> Modelação em cascata (adaptado de Silva et al., 1995) .....	21
<b>Figura 3.1</b> Localização e subdivisão da região norte em unidades territoriais.....	25
<b>Figura 3.2</b> Clima de Portugal Continental segundo a classificação de Köppen (adotado do IPMA).....	27
<b>Figura 3.3</b> Redução dos caudais médios diários dos municípios abastecidos pelo SMAAN..	29
<b>Figura 3.4</b> Configuração do SAV .....	30
<b>Figura 3.5</b> Esquematização da rede de abastecimento do SAV e localização dos reservatórios selecionados para estudo (Escala 1: 300.000) .....	33
<b>Figura 3.6</b> Localização geográfica das PSW selecionadas (adaptado de wundermap) .....	35
<b>Figura 4.1</b> Esquematização das etapas constituintes do tratamento de dados cronológicos ...	38
<b>Figura 4.2</b> Gráfico cronológico da temperatura máxima mensal nas PWS selecionadas .....	39
<b>Figura 4.3</b> Gráfico cronológico da temperatura média mensal nas PWS selecionadas.....	39
<b>Figura 4.4</b> Gráfico cronológico da temperatura mínima mensal nas PWS selecionadas .....	39
<b>Figura 4.5</b> Diagramas de caixa das temperaturas máxima, média e mínima nas PWS selecionadas .....	40
<b>Figura 4.6</b> Gráfico cronológico da humidade máxima mensal nas PWS selecionadas.....	40
<b>Figura 4.7</b> Gráfico cronológico da humidade média mensal nas PWS selecionadas .....	41

<b>Figura 4.8</b> Gráfico cronológico da humidade mínima mensal nas PWS selecionadas .....	41
<b>Figura 4.9</b> Diagramas de caixa das humidades máxima, média e mínima nas PWS selecionadas .....	41
<b>Figura 4.10</b> Gráfico cronológico da precipitação média mensal nas PWS selecionadas.....	42
<b>Figura 4.11</b> Diagramas de caixa da precipitação média mensal nas PWS selecionadas .....	42
<b>Figura 4.12</b> Gráfico de evolução cronológica da temperatura máxima mensal.....	44
<b>Figura 4.13</b> Gráfico de evolução cronológica da temperatura média mensal.....	44
<b>Figura 4.14</b> Gráfico de evolução cronológica da temperatura mínima mensal .....	44
<b>Figura 4.15</b> - Diagramas de caixa das temperaturas máxima, média e mínima mensais.....	45
<b>Figura 4.16</b> Gráfico de evolução cronológica da humidade máxima mensal .....	45
<b>Figura 4.17</b> Gráfico de evolução cronológica da humidade média mensal .....	45
<b>Figura 4.18</b> Gráfico de evolução cronológica da humidade mínima mensal.....	46
<b>Figura 4.19</b> Diagramas de caixa dos teores de humidade máximo, médio e mínimo mensais	46
<b>Figura 4.20</b> Gráfico de evolução cronológica da precipitação média mensal .....	47
<b>Figura 4.21</b> Diagramas de caixa da precipitação média mensal .....	47
<b>Figura 4.22</b> Diagramas de caixa dos consumos médios diários de água dos municípios em estudo .....	49
<b>Figura 4.23</b> Séries cronológicas de consumos médios mensais de água nos municípios em estudo .....	50
<b>Figura 4.24</b> Diagramas de caixa dos consumos médios mensais de água dos municípios em estudo .....	51
<b>Figura 4.25</b> Índices sazonais dos consumos médios mensais de água do município de Esposende.....	52

<b>Figura 5.1</b> Esquemática das etapas desenvolvidas no presente capítulo	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Figura 5.2</b> Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Esposende.....	56
<b>Figura 5.3</b> Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Esposende.....	58
<b>Figura 5.4</b> Diagramas de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Esposende .....	60
<b>Figura 5.5</b> Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Esposende.....	62
<b>Figura 5.6</b> Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Esposende.....	64
<b>Figura 5.7</b> Diagramas de dispersão da precipitação média mensal e consumos médios mensais no município de Esposende .....	65
<b>Figura 5.8</b> Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município de Esposende .....	66
<b>Figura 5.9</b> Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na temperatura máxima diária .....	71
<b>Figura 5.10</b> Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na humidade média diária.....	72
<b>Figura 5.11</b> Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na precipitação total diária .....	72
<b>Figura 5.12</b> Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados na temperatura máxima mensal.....	73
<b>Figura 5.13</b> Índices meteorológicos para os consumos médios mensais de água baseados no teor de humidade médio mensal .....	74

<b>Figura 5.14</b> Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados na precipitação média mensal .....	75
<b>Figura 5.15</b> Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados no número de ocorrências de precipitação mensal.....	75
<b>Figura 6.1</b> Esquematização das etapas de formulação dos MPCAs .....	78
<b>Figura 6.2</b> Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Esposende.....	84
<b>Figura 6.3</b> Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de Esposende .	84
<b>Figura 6.4</b> Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município de Esposende.....	85
<b>Figura 6.5</b> Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Esposende.....	86
<b>Figura 6.6</b> Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAm do município de Esposende	87
<b>Figura 6.7</b> Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Esposende.....	87
<b>Figura 7.1</b> Esquematização da análise comparativa entre regiões de sub-climas distintos ....	91
<b>Figura 7.2</b> Evolução dos volumes médios diários mensais de água dos municípios do noroeste .....	97
<b>Figura 7.3</b> Evolução dos volumes médios diários mensais de água dos municípios algarvios .....	97
<b>Figura 7.4</b> Consumos per capita de água nos municípios do Algarve e do noroeste.....	102



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> – Municípios, reservatórios e respetiva capacidade e nível e de funcionamento ..	32
<b>Tabela 4.1</b> Valores de prova do teste K-S às variáveis meteorológicas das PWS selecionadas .....	43
<b>Tabela 4.2.</b> Matriz de correlação entre os registos de temperatura máxima das PWS selecionadas .....	43
<b>Tabela 4.3</b> Período de dados de consumos de água a considerar no estudo .....	48
<b>Tabela 4.4</b> Taxas de aumento dos consumos médios diários no verão .....	49
<b>Tabela 4.5</b> Variação sazonal dos consumos de água .....	52
<b>Tabela 5.1</b> Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas, médias, mínimas diárias e consumos médios diários, no município de Esposende.....	56
<b>Tabela 5.2</b> Valores de temperatura máxima, média e mínima que alteram a evolução dos consumos médios diários de água .....	57
<b>Tabela 5.3</b> Coeficientes de correlação entre teores de humidade máximos, médios, mínimos diários e consumos médios diários, no município de Esposende .....	58
<b>Tabela 5.4</b> Limite de concentração de pontos e de consumos de água para humidades máximas.....	59
<b>Tabela 5.5</b> Coeficientes de correlação entre precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Esposende .....	60
<b>Tabela 5.6</b> Média dos consumos médios diários de água para a ocorrência e não ocorrência de precipitação diária.....	61
<b>Tabela 5.7</b> Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas, médias, mínimas mensais e consumos médios mensais, no município de Esposende .....	63
<b>Tabela 5.8</b> Coeficientes de correlação entre humidade máxima, média, mínima mensais e consumos médios mensais, no município de Esposende.....	64

<b>Tabela 5.9</b> Coeficientes de correlação entre precipitação média mensal e consumos médios mensais de água, no município de Esposende .....	65
<b>Tabela 5.10</b> Número de ocorrências de precipitação mensal associado à diminuição e estabilização de consumos médios mensais de água .....	67
<b>Tabela 5.11</b> Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Esposende.....	68
<b>Tabela 5.12</b> Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Esposende.....	69
<b>Tabela 6.1</b> Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Esposende .....	79
<b>Tabela 6.2</b> Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Esposende. ....	80
<b>Tabela 6.3</b> Resultados da avaliação dos MPCAd aplicados aos municípios .....	85
<b>Tabela 6.4</b> Resultados da avaliação dos MPCAm aplicados aos municípios .....	88
<b>Tabela 7.1</b> Valor estimado da população média anual residente nos municípios do Noroeste (retirado de INE, 2014) .....	94
<b>Tabela 7.2</b> Valor estimado da população média anual residente nos municípios do Algarve (retirado de INE, 2014) .....	94
<b>Tabela 7.3</b> Área geográfica dos municípios em estudo.....	95
<b>Tabela 7.4</b> Valores de capitação doméstica de água mínimos admissíveis (Dec. Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto).....	100
<b>Tabela 7.5</b> Proporção de alojamentos familiares clássicos de uso sazonal por município (INE, 2011) .....	101
<b>Tabela 7.6</b> Capitações médias diárias de água a nível municipal e regional .....	103

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AdNw - Águas do Noroeste, S.A

ANOVA – Análise de Variância

Cd – consumos médios diários de água

CENSOS – Recenseamentos populacionais

Cm - consumos médios mensais de água

D-W – *Durbin-Watson*

K-S – *Kolmogorov-Smirnov*

MPCA – Modelos d Projeção de Consumo de Água

NUTS – Unidade Territorial Estatística

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PWS – *Personal Weather Station*

RNAs – Redes Neurais Artificiais

SAV - Subsistema Multimunicipal de Abastecimento de Água de Areias de Vilar

SEE – Erro Padrão de Estimativa

SMAAN - Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Norte

WU – *Weather Underground*



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento Geral

No respeitante a sistemas de abastecimento de água, o princípio fundamental reside na capacidade de atender a população destinatária continuamente, fornecendo um volume de água não inferior ao consumido regularmente. O Homem, como principal agente, deverá tomar medidas a fim de alcançar o equilíbrio entre as suas próprias necessidades e a capacidade do ambiente regenerar os recursos naturais existentes (Vieira, 2003).

Na conjuntura atual, é da maior importância a definição de planos estratégicos no respeitante aos sistemas de abastecimento de água de forma a garantir o seu fornecimento regular e uma melhor gestão dos recursos hídricos. Os planos de decisão são apoiados em estudos de projeção de consumos de água, que se revelam como uma mais-valia na otimização dos processos de tratamento de água, na alteração das redes de distribuição e na estimativa de investimentos (Silva & Rocha, 1999).

As entidades responsáveis pela gestão de água em Portugal tomam decisões com base em conhecimento e historial de registos de volumes de água devidamente atualizados. No entanto, face aos impactos das alterações climáticas repentinas ou outras ocorrências extremas, este modo de atuação não se apresenta como o mais eficiente. A projeção dos consumos de água com base em registos diários ou mensais é um instrumento de apoio à decisão que permite uma melhor planificação estratégica e um maior controlo e conservação dos recursos disponíveis, no âmbito de uma gestão mais integrada e flexível.

Os processos de projeção de consumos de água são de elevada complexidade, tendo em conta o número de fatores condicionantes envolvidos. Entre eles, manifestam-se a situação socioeconómica da população, a tipologia de atividades desenvolvidas (agricultura, indústria, comércio), o potencial turístico do município, a administração do sistema de abastecimento e as condições climáticas que se fazem sentir em cada região.

Também os parâmetros meteorológicos proporcionam alterações significativas no quotidiano das populações e, conseqüentemente, na distribuição e quantidade de água requerida. Neste contexto, partindo do grau de relacionamento entre ambas as variáveis, os modelos matemáticos de projeção permitem traduzir a evolução dos volumes de água consumidos com base na alteração dos parâmetros meteorológicos.

A componente sazonal tem uma forte influência sobre a flutuação anual dos consumos de água, causando um aumento dos mesmos na época de verão e uma diminuição nas estações mais frias. Diretamente relacionada está a atividade turística, que ocasiona um aumento populacional nos meses de verão, especialmente nas regiões mais atrativas como os municípios do litoral. Contrariamente, as regiões onde predominam atividades como a agricultura e a indústria, apresentam modos de vida contrastantes. Este aspeto realça o interesse em distinguir e comparar a evolução dos consumos de água em áreas geográficas distintas de Portugal continental.

Diretamente relacionado com o perfil de cada região está o consumo *per capita* de água, utilizado como indicador no planeamento e gestão de recursos hídricos (Silva *et. al*, 2008). Na medida em que são geralmente estimados com base em populações de comportamentos semelhantes, é pertinente a análise das captações de água de regiões distintas, com vista à avaliação da legitimidade dos valores correntemente aplicados em Portugal.

## **1.2 Objetivos**

Esta dissertação objetiva o desenvolvimento de modelos de projeção de consumos de água baseados em variáveis meteorológicas, aplicáveis aos municípios servidos pelo Subsistema Multimunicipal de Abastecimento de Água de Areias de Vilar (Águas do Noroeste, S.A.). Os modelos resultantes facilitam a sua aplicação a médio ou longo prazo, numa perspetiva diária ou mensal, sendo uma ferramenta auxiliar na gestão dos sistemas de abastecimento público de água.

Com base em amostras de registos cronológicos de consumos de água e de parâmetros meteorológicos, pretende-se aplicar um conjunto de conceitos e testes estatísticos de forma a interpretar o desempenho das variáveis que integram o modelo de projeção. A análise das correlações e da evolução das variáveis permite concluir acerca do efeito da sazonalidade, traduzido pelo decurso das estações do ano, e sobre as diferenças que marcam o comportamento dos municípios do litoral e do interior noroeste.

A aplicação de técnicas de regressão linear múltipla para a concretização dos modelos de projeção, propicia a comparação com o trabalho igualmente realizado por Costa (2012), aplicável aos municípios algarvios. Entre outras, o estudo comparativo pretende tirar

conclusões acerca da influência das variáveis meteorológicas nos consumos de água e sobre a evolução dos consumos *per capita* a norte e sul de Portugal continental.

### **1.3 Estrutura e conteúdo da dissertação**

A dissertação está estruturada em oito capítulos. O presente capítulo introdutório (Capítulo 1) aborda um leve enquadramento da temática e os objetivos principais a alcançar com o trabalho desenvolvido.

Seguidamente, no Capítulo 2, realiza-se um levantamento bibliográfico não só dos fatores preponderantes no comportamento dos consumos de água, como também das técnicas estatísticas utilizadas como referência para a concretização de modelos de projeção. São apontados alguns dos métodos de projeção suportados por séries de dados cronológicos, assim como trabalhos nacionais e internacionais realizados no âmbito da influência meteorológica nos consumos de água.

O terceiro capítulo apresenta uma descrição essencialmente demográfica e climatológica da região alvo de estudo. Ainda no mesmo capítulo identificam-se e descrevem-se as duas fontes de dados cronológicos: a concessionária Águas do Noroeste e a plataforma de dados meteorológicos *Weather Underground*, identificando-se também as localidades que constituem os casos de estudo.

O capítulo 4 inicia com a comprovação de existência de um único tipo de sub-clima no noroeste português, através da comparação de dados meteorológicos de 5 localidades da região. É realizada uma análise às variáveis meteorológicas integrantes nos futuros modelos de projeção e à evolução das séries de registos diários e mensais de consumos de água nos municípios em estudo. Por fim, é analisado o efeito da sazonalidade presente nos consumos de água nos diversos municípios, com base nos índices sazonais.

Após a análise singular de cada variável, no Capítulo 5 são analisados os graus de relacionamento entre as variáveis meteorológicas e os consumos de água de cada localidade, com recurso a técnicas estatísticas de correlações diárias e mensais. O capítulo termina com o cálculo de índices meteorológicos, que atuam como indicadores da ponderação de cada parâmetro meteorológico sobre o comportamento dos consumos de água.

O Capítulo 6 exhibe os resultados da aplicação da regressão linear múltipla ao conjunto de dados analisados, traduzidos pelos parâmetros constituintes dos modelos de projeção. O mesmo capítulo inclui uma interpretação da potencialidade e da qualidade de ajuste dos modelos obtidos, do ponto de vista diário e mensal. Por fim, é realizada a validação dos modelos, confrontando os resultados estimados com os registos observados no último ano da amostra de dados recolhidos.

No Capítulo 7 é realizado o estudo comparativo entre as características regionais, demográficas e climáticas das regiões do noroeste e do Algarve. Apresenta-se o estudo dos comportamentos dos consumos de água e das capitações em ambas as regiões, destacando a legitimidade da legislação atualmente aplicável em Portugal. Com base no trabalho de Costa (2012), são concluídos aspetos relativos ao poder da projeção dos modelos estudados e a influência da meteorologia nos consumos de água de ambas as regiões.

Por fim, no Capítulo 8, apresentam-se as considerações finais e aspetos que poderão vir a ser alvo de estudo de investigações futuras, de forma a dar continuidade ao trabalho realizado.



---

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Fatores Influenciadores do Consumo de Água

Segundo Santos & Miranda (2006), a utilização de água está relacionada com o conjunto de atividades que recorrem a meios hídricos. Silva (2005) afirma que o sistema de abastecimento público é a melhor solução para a distribuição de água pela população consumidora, urbana ou suburbana. O consumo de água urbano está relacionado com atividades domésticas, públicas, comerciais ou industriais, realizadas em ambiente citadino (Santos, 2011).

O consumo de água é influenciado por critérios imutáveis (como o posicionamento geográfico e a topografia), ou por fatores variáveis (como o desenvolvimento económico, o crescimento populacional, a acessibilidade a redes de distribuição de água e o custo implícito). As características climáticas e as variações meteorológicas decorrentes das estações do ano surgem como os fatores de maiores alterações e periodicidade, mas preponderantes no comportamento dos consumos de água (Falkenberg, 2005; Yassuda *et al.*, 1976; Downey, 2006).

#### 2.1.1 Alterações climáticas

O estado do tempo é caracterizado pelas circunstâncias da atmosfera e pelas variações meteorológicas num dado espaço e período de tempo. O clima é descrito, sucintamente, como as variações meteorológicas, num período de tempo considerável (Santos, Forbes & Moita, 2002).

Nos últimos anos, o clima terrestre tem sofrido alterações súbitas, causadas maioritariamente por ações de caráter humano (Duarte, 2007) cujos efeitos recaem sobre o ciclo hidrológico, os ecossistemas envolventes e toda a vida no planeta. É crescente a magnitude e abrangência das alterações de temperatura e precipitação, assim como a ocorrência de desastres naturais (Moura, 2006).

O clima mediterrânico português assume uma ligeira variação de temperatura que, em média, ronda os 7 °C (em zonas interiores e montanhosas) e os 18 °C (nas regiões a Sul). No entanto, apesar da reduzida variabilidade dos fatores climáticos, poderão ser induzidas significativas mudanças nos padrões de temperatura e de precipitação. Santos & Miranda (2006) justificam

que, desde a década de 70, se verificam aumentos de temperatura e nebulosidade e decréscimos da humidade relativa à superfície e da amplitude térmica nacional.

De acordo com o Dec. Lei nº 59/2001 de 30 de Maio, os resultados do relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas afirmam que Portugal será particularmente afetado pelo aumento da temperatura, verificando-se, nos cenários mais gravosos, um aumento de 9 °C no verão até 2100. As diferenças regionais, no referente à disponibilidade de água, serão crescentes, intensificando a sua procura (Santos & Miranda, 2006). A brusca alteração do ciclo hidrológico causará impacto nas redes de abastecimento e de drenagem e na disponibilidade e qualidade da água.

O Sistema Multimunicipal de Abastecimento das Águas do Algarve revelará um aumento de caudais destinados ao consumo de água de 5,5 %, 11,9 % e 17,9 % nos anos de 2021, 2041 e 2061 respetivamente. A ocorrência de uma seca de intensidade semelhante à ocorrida em 2004 no Algarve poderá desencadear, segundo o autor, um aumento do consumo de água em 5 % (Costa, 2012).

Nestas circunstâncias em que as incertezas são elevadas, a antevisão e projeção baseadas em circunstâncias transatas são fundamentais, pois possibilitam a antevisão de adversidades e servem de incentivo à criação de estratégias, decisões e planos (Duarte, 2007). Costa (2012) afirma que os modelos de projeção do consumo de água possibilitam a simulação de cenários climáticos e a consequente projeção de consumos a longo prazo.

### ***2.1.2 Sazonalidade***

A sazonalidade é caracterizada por um conjunto de variações periódicas, ocorridas ao longo das horas do dia, dos dias da semana e dos meses do ano (Silva & Pinto, 2006). Os consumos de água são influenciados por variações sazonais, que revelam a sua componente periódica e não estacionária (Barbiero & Lemes, 2011). Em consequência das estações do ano, são alterados vários parâmetros diretamente relacionados com o consumo de água, nomeadamente, as condições climáticas, o quotidiano e atividades da população e a flutuação populacional devido à forte influência turística.

A medição individual dos consumos de água urbanos e turísticos não é uma tarefa simples. Nas regiões costeiras do Mediterrâneo, a população turística provoca uma intensa pressão sobre o ambiente local e um forte impacto nos volumes de água requeridos. Habitualmente, o

consumo doméstico europeu de água varia entre 150 a 200 L/dia. Valor que aumenta para 300 L/dia nas épocas de maior atividade turística. A disponibilidade de água encontra-se assim limitada face aos maiores picos de consumo (Karavitis, 2005).

Para Falkenberg (2005), o consumo de água é superior caso a urbanização se localize numa região do litoral, onde o setor turístico é possivelmente mais acentuado, comparativamente a regiões do interior. Gössling (2013) afirma que, comparada à agricultura, a atividade turística requer uma menor utilização de água. Contudo, é um dos principais responsáveis pelo consumo de água doce em regiões de maior escassez e difícil renovação da mesma.

Costa (2012) defende a inclusão dos efeitos de sazonalidade nos modelos de projeção de consumos de água. No decorrer do seu estudo o Algarve, uma região de forte atração turística, verifica a ocorrência de picos de consumos de água, aliados à flutuação populacional nos meses de verão com temperaturas mais elevadas e ausência de precipitações.

### **2.1.3 Variáveis meteorológicas**

Num estudo incidente sobre consumos de água, a influência de variáveis climáticas entra em destaque (Vianna & Depexe, 2013). O clima e a meteorologia são os principais responsáveis pelos padrões sazonais e oscilações nos volumes urbanos de água requeridos, sendo preponderantes em matéria de projeção de consumos de água.

A temperatura média mensal e a precipitação acompanham o regime de utilizações de água, em ambiente urbano, e são determinantes nas alterações dos padrões de consumo de água. A humidade relativa ou a evapotranspiração poderão ter efeitos bastante significativos. Diferentes de outros fatores, as condições meteorológicas incentivam o desenvolvimento independente de modelos de avaliação de consumos de água (Miaou, 1990; Billings & Jones, 1996).

#### **2.1.3.1 Temperatura**

Os registos de temperatura seguem uma sucessão cronológica sazonal, variando periodicamente entre valores máximos e mínimos, repetindo-se habitualmente nas mesmas épocas do ano. Os consumos de água reagem sensivelmente à oscilação dos valores deste parâmetro meteorológico (Akuoko-Asibey *et al.*, 1993).

### **2.1.3.2 Precipitação**

Face à contínua procura da combinação ótima entre variáveis meteorológicas e os hábitos de consumo de água, a precipitação surge como uma das variáveis de maior interesse (Kenny *et al.*, 2008). Os modelos de projeção com melhores resultados destacam, primeiramente, a ocorrência e, em segundo plano, a quantidade ou intensidade de precipitação (Jain *et al.*, 2001; Zhou, 2000).

### **2.1.3.3 Humidade**

Para Akuoko-Asibey *et al.* (1993), a utilização de água é afetada por fenómenos climáticos relacionados com a humidade relativa do ar. Catrino (2010) afirma que a humidade relativa mede a quantidade de vapor de água existente no ar atmosférico, diretamente relacionado com a temperatura. Se esta diminuir e o vapor de água se mantiver constante, a humidade relativa sofre um aumento.

### **2.1.3.4 Exemplos de estudos realizados**

Alguns estudos têm vindo a ser desenvolvidos no que concerne à previsão e projeção dos consumos de água com base nas variáveis meteorológicas.

A proposta de estudo de Maidment *et al.* (1985), na cidade de Austin, incide na caracterização do consumo diário de água, determinado pela temperatura e na ausência de precipitação. Concluíram que o consumo de água apresenta um regime não linear, diferindo nas estações do ano. No verão, cada grau de subida de temperatura acima dos 28 °C, reflete-se num crescimento repentino do consumo de água. No inverno, somente entre 13 °C a 28 °C é que se verifica o mesmo aumento. A precipitação causa uma queda acentuada no consumo de água, sendo mais relevante a sua ocorrência do que intensidade.

No ano seguinte Maidment & Miaou (1986) estudaram amostras de três estados: Flórida, Texas e Pensilvânia. As utilizações de água no Texas e na Flórida são semelhantes, em casos de fortes precipitações e variações de temperatura do ar. Entre os dois estados difere o padrão climático, uma vez que na Flórida a pluviosidade é elevada nos meses de verão e no Texas é relativamente baixa. Na Pensilvânia as respostas mostram-se mais sensíveis às variações de temperatura do que às precipitações, devido à menor área de rega e maior atividade industrial.

---

O impacto imediato da precipitação é semelhante no Texas e na Flórida, mas é sentido mais tardiamente e de forma menos acentuada na Pensilvânia.

Também Ferraz (1986), juntamente com a sua companhia de saneamento, analisou várias combinações entre os fatores climáticos (temperatura e precipitação) e o consumo de água (diário, semanal e mensal), concluindo que durante os meses de inverno os efeitos climáticos são pouco determinantes. No verão, as precipitações causam uma redução de 5 % no consumo de água.

Por seu lado, Akuoko-Asibey *et al.* (1993) desenvolveram um modelo de projeção de consumos semanais de água influenciado pelas alterações meteorológicas, relativamente à cidade de Calgary. São notórios os contrastes de temperatura diurna e noturna e das precipitações no verão e inverno. Concluíram que o consumo de água semanal *per capita* diminui com a precipitação e mantém-se constante para temperaturas máximas semanais em média inferiores a 15 °C. Acima deste patamar de temperatura é notória a intensificação de práticas consumidoras de água (irrigações, lavagens, piscinas, parques públicos), influenciadas pelo número de ocorrências de precipitação.

Posteriormente, Borges (2003) e Protopapas *et al.* (2000) investigaram a relação entre as condições climáticas e o consumo de água na cidade de Nova Iorque. Com base em estudos anteriores, relativos a outras cidades americanas, permitiram a identificação de medidas de conservação e projetos futuros para o abastecimento da cidade.

Mais recentemente, Filho *et al.* (2004) avaliaram a relação entre os fatores meteorológicos e os consumos de água na Região Metropolitana de São Paulo, entre 1999 e 2000. Constataram que o consumo médio mensal máximo de água relacionava-se diretamente com a temperatura média mensal máxima e que os consumos médios diários de água aumentavam quando os valores mensais de precipitação baixavam. Os consecutivos períodos de elevadas temperaturas, baixa humidade e fraca precipitação, proporcionavam um aumento exponencial do consumo de água, prolongado por várias semanas.

As conclusões retiradas por Falkenberg (2005) são semelhantes relativamente ao consumo de água em três regiões do município de Ponta Grossa, onde o mesmo é crescente consoante o aumento de temperatura e a diminuição do teor de humidade do ar. Pelo contrário, o consumo diminui repentinamente em períodos de fortes e permanentes precipitações.

Gutzler & Nims (2005) abordaram a influência da precipitação e da temperatura no consumo de água em Albuquerque. O modelo obtido fornece um ajuste e projeção de consumos de água domésticos razoáveis, tornando-se uma mais-valia na planificação de medidas de conservação de água, aliadas ao crescimento da população a longo prazo.

Já Gato *et al.* (2007) investigaram a influência da sazonalidade e da meteorologia nos consumos de água da cidade de Victoria. Desenvolvendo uma metodologia de projeção baseada em funções lineares, os autores encontraram limites meteorológicos para os quais os consumos de água tendem a oscilar. Para temperaturas acima de 15,3 °C e valores de precipitação inferiores a 4,8 mm, os consumos sofrem um aumento. Caso contrário, as condições meteorológicas não causam qualquer efeito na procura de água.

Santos (2011) realizou igualmente um modelo de previsão de procura de água na Região Metropolitana de São Paulo, baseando-se em condições socioambientais e meteorológicas. A sua avaliação indica que os maiores consumos ocorrem no mês de março, no verão, coincidindo com valores de temperaturas e humidade mais elevados e períodos longos sem precipitação. Os menores consumos dão-se no mês de julho, no inverno, devido ao aumento da precipitação e redução das temperaturas.

Por outro lado, Yasar, Bilgili & Simsek (2012) aplicaram um método para projetar o consumo de água em 2020, em Adana. De acordo com os resultados obtidos, o consumo de água mensal está diretamente relacionado com o número de habitantes residentes e com a temperatura atmosférica. Concluem ainda que o crescimento e deslocação da população devido aos invernos mais rigorosos provocarão, a longo prazo, uma pressão nas qualidades do solo e da água doce superficial e subterrânea.

Finalmente, Costa (2012) elaborou um modelo de projeções de consumos de água, com base em variáveis meteorológicas, incidente sobre oito municípios algarvios. A temperatura do ar mostrou-se como a variável mais determinante, estando os consumos máximos diretamente relacionados com as temperaturas máximas. O autor conclui que a população tende a consumir menos água face à ocorrência de precipitações e que os consumos são mais elevados para teores de humidade inferiores.

## 2.2 Técnicas de análise estatística de dados

A avaliação dos consumos de água através de técnicas estatísticas permite compreender os efeitos dos diversos fatores atuantes (Odan, 2010; Carvalho, 2013). O alcance de um modelo fidedigno passa pelo tratamento estatístico de dados. Esta análise deve aliar-se ao objetivo final pretendido, proporcionando a identificação de anomalias e tendências comportamentais (Costa, 2012).

### 2.2.1 Análise de séries cronológicas

Uma série cronológica é a sequência de observações de uma variável, registadas em pontos discretos e cronologicamente equidistantes, cuja análise remete à descrição de um dado fenómeno (Ferreira, 2001).

O objetivo da análise de séries cronológicas é a identificação de padrões não aleatórios que permitam a formulação de modelos de projeção. Consoante a disposição dos dados, as séries cronológicas distinguem-se pelo comportamento estacionário, aleatório, sazonal ou de tendência linear (Moretin & Toloï, 1987). Os parâmetros dos modelos de projeção não dependem diretamente do tempo cronológico, mas sim dos registos das séries que, por sua vez, se correlacionam com o tempo (Peres-Neto *et al.*, 1995).

Ferraz (1986) baseou-se em séries de registos de volumes de água horários, para obter curvas caracterizadoras dos consumos de água dos setores de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. Esta análise permitiu a realização de várias combinações entre fatores climáticos e os consumos de água e modelos de projeção com base nesses parâmetros.

O desenvolvimento de séries cronológicas deve-se, em grande parte, aos estudos de Box e Jenkins (1976), baseados em métodos iterativos e regressivos para identificar um modelo cronológico (Junior, 2004; Ferreira, 2001). Outras técnicas foram desenvolvidas, nomeadamente o método da média-móvel, que utiliza sucessivas médias entre valores anteriores ao que se tenciona projetar (Albright *et al.*, 2002), ou modelos de ajuste exponencial, mais simples mas menos rigorosos e aplicáveis em previsões de consumos de água a curto prazo (Bowerman & O'Connell, 1979; Coelho *et al.*, 2003)

### 2.2.2 Método da correlação

Em estatística, a correlação expressa a associação entre dois conjuntos de registos quantitativos (Correa, 2003). Os métodos de investigação correlacionais possibilitam a medição da magnitude das relações entre uma multiplicidade de variáveis (Henriques & Pesquita, 2004).

Os coeficientes de correlação e determinação traduzem, numericamente, a proximidade entre dois conjuntos de registos, permitindo avaliar o sentido e a intensidade da relação de forma simples (Murteira *et al.*,1993; Silva *et al.*,1995).

A interpretação do coeficiente de correlação está ligada ao seu sinal e magnitude. Se o coeficiente de correlação for positivo ( $R > 0$ ) ou negativo ( $R < 0$ ) indica, respetivamente, que as variáveis variam no mesmo sentido ou em sentido inverso. O coeficiente de correlação mede a capacidade de explicação do parâmetro dependente por parte de uma variável independente. Varia entre 0 e 1, em valor absoluto, consoante a associação entre as variáveis (Montgomery & Runger, 2003). Quanto mais próximo estiver da unidade, mais forte é a relação entre as variáveis.

O grau de relacionamento entre as variáveis é obtido pelo valor absoluto do coeficiente de correlação, sendo: “Muito Forte” para  $0,80 \leq \rho \leq 1,0$ ; “Forte” para  $0,60 \leq \rho < 0,80$ ; “Moderado” para  $0,40 \leq \rho < 0,60$ ; “Fraco” para  $0,20 \leq \rho < 0,40$  “Muito Fraco” para  $\rho < 0,20$  (Weir, 2011).

No âmbito da estatística, os principais coeficientes de correlação são os coeficientes de Pearson ( $R$ ) e de Spearman ( $\rho$ ). A aplicação de ambos difere no tipo de distribuição das variáveis a correlacionar. Se a distribuição conjunta das duas variáveis for normal, é válido o coeficiente de correlação de Pearson. Caso não se verifique a normalidade das distribuições e as duas variáveis evoluam no mesmo sentido (relação de monotonia), é aplicável o coeficiente de correlação de Spearman (Faísca, 2010).

Zhou *et al.* (2000) elaboraram um modelo de previsão dos consumos de água diários urbanos para cidade de Melbourne, baseado na tendência do consumo básico, na sazonalidade climática e na correlação e autocorrelação climática. O coeficiente de determinação obtido (89,6 %) remeteu para uma eficiência satisfatória por parte do modelo.

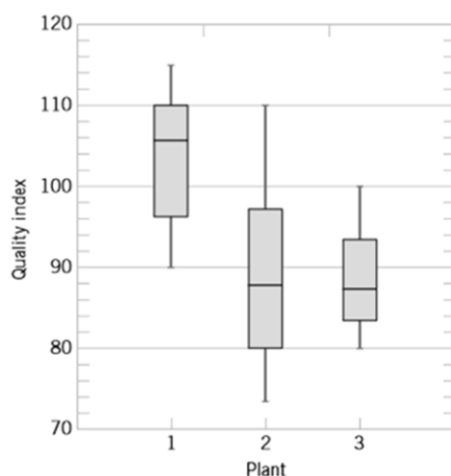


Também Santos (2011) avaliou a correlação entre seis variáveis meteorológicas e os consumos de água no setor de Itaim Paulista e ETA da Canteira. Com recurso a matrizes de correlação, identificou a temperatura e a precipitação como as variáveis mais fortemente relacionadas com os consumos de água. Downey (2006) usou matrizes de correlação para avaliar a ponderação de diversas variáveis sobre os consumos de água de três cidades distintas. Akuoko-Asibey *et al.* (1993) utilizou esta ferramenta na identificação da influência e colinearidade existentes entre as variáveis.

### 2.2.3 Diagramas de dispersão e diagramas em caixa

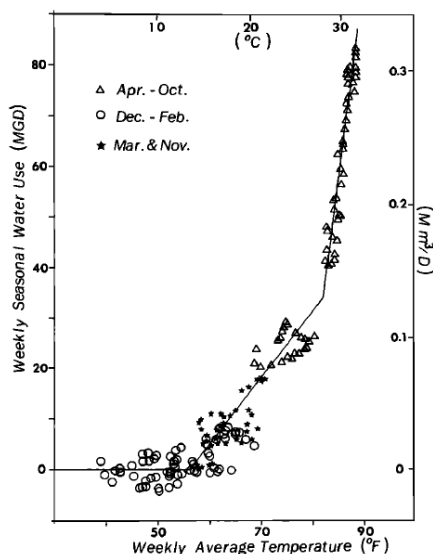
Os coeficientes estatísticos permitem avaliar o relacionamento das variáveis através de um valor numérico. Contudo, algumas técnicas gráficas estatísticas possibilitam a compreensão e interpretação de resultados de forma rápida, rentável e pouco dispendiosa (Montgomery & Runger, 2003).

Um exemplo destas representações gráficas são os diagramas em caixa (caixa de bigodes ou *boxplots*) que permitem facilmente conhecer e interpretar a distribuição, variabilidade e simetria do conjunto de dados (Figura 2.1). O eixo vertical corresponde à variável e o horizontal, ao parâmetro de interesse. A caixa de cada diagrama representa 50 % da amostra de registos. No interior da caixa é assinalado o valor da mediana (valor central da amostra), sendo a base e o topo indicadores do quartil inferior e superior, correspondentes a 25 % e 75 % dos valores observados, respetivamente. Cada extremo adjacente da caixa indica o maior e menor valor da amostra de dados (Braga, 2010).



**Figura 2.1** Exemplificação de diagramas em caixa (retirado de Montgomery & Runger, 2003)

O diagrama de dispersão é a forma gráfica representativa do nível de correlação existente entre duas variáveis. Permite uma percepção imediata da intensidade, do sentido e da linearidade ou não linearidade entre as variáveis (Henriques *et al.*, 2004). Downey (2006) utilizou gráficos de dispersão para representar a relação entre o consumo de água e as três principais variáveis meteorológicas. Maidment *et al.* (1985) demonstra, através do diagrama de dispersão (Figura 2.2), uma relação não linear entre a temperatura do ar e a utilização de água.



**Figura 2.2** Diagrama de dispersão de utilização da água sazonal e temperatura média semanal.

#### 2.2.4 Testes estatísticos

A análise estatística é importante em estudos baseados numa amostra para o conhecimento de parâmetros sobre uma população. Os testes estatísticos possibilitam a validação e a extrapolação dos resultados obtidos para a população total (Normando *et al.*, 2010). Daí a sua importância para este trabalho.

Também designados por testes de hipóteses, permitem verificar a semelhança entre dados de duas ou mais amostras ou a possibilidade das diferenças surgirem de ocasionalidades (Tuckman, 2000).

##### 2.2.4.1 Teste de Aderência à Normalidade

Na maioria dos métodos estatísticos, os dados são provenientes de distribuições normais, permitindo a aplicação de técnicas de estimação. Contudo, para avaliar a qualidade de ajuste

das amostras à distribuição normal, realizam-se testes estatísticos não paramétricos. Nomeadamente, o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Leotti *et. al.*, 2004).

Este teste deve preceder a aplicação de técnicas de correlação, uma vez que permite distinguir qual o coeficiente de correlação aplicável conforme o tipo de distribuição. Caso o valor de prova resultante (*p-value* ou nível de significância) do teste K-S seja inferior a 0,05, a hipótese assumida como verdadeira (Hipótese nula,  $H_0$ ) deve ser rejeitada. Por outras palavras, para um nível de confiança de 95 %, se *p-value* for inferior a 0,05, conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal. Nestas circunstâncias deve recorrer-se ao coeficiente de correlação não-paramétrico de Spearman ( $\rho$ ) (Torman *et al.*, 2012).

#### **2.2.4.2 Teste de Kruskal-Wallis**

O teste estatístico de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico, aplicado para comparar amostras independentes de dados de génese qualitativa ou ordinal. Este teste, no caso da rejeição da hipótese nula, permite verificar que as amostras de dados apresentam diferenças significativas (Montgomery & Runger, 2003).

### **2.3 Modelos de projeção de consumos de água**

De acordo com Jones *et al.* (1984), uma previsão compreende informações sobre o futuro. Já a projeção é uma estimativa ou conjectura que parte de deduções diretas ou subentendidas assentes em tendências decorridas.

Os modelos de projeção resumem-se em quantitativos e qualitativos (Boland, 1985; Makridakis, 1990). Os quantitativos baseiam-se em modelos matemáticos e são úteis na tomada de decisões. Os métodos qualitativos ou não analíticos são suportados por pesquisas que remetem à construção de quadros futuros (Silva, 2003; Júnior, 2004).

Quanto ao horizonte de previsão, os modelos classificam-se como sendo de curto ou longo prazo. Os de curto prazo incidem sobre a operacionalidade e aplicação de planos, em tempo real, resultando em respostas instantâneas mas de complexa elaboração (Odan, 2010; Silva, 2003; Silva & Rocha, 1999). As projeções a longo prazo são eficazes em implementações de novos projetos, com maior envergadura (Odan, 2010; Billings & Jones, 1996), embora a eficiência diminua para um período de tempo superior (Carvalho, 2013; Júnior, 2004).

### 2.3.1 Modelos de regressão simples e múltipla

Os modelos de regressão relacionam matematicamente um conjunto de parâmetros independentes para projetar o comportamento de uma variável dependente. Um modelo que aborde apenas uma variável independente diz-se de regressão linear simples. No caso de existirem diversas variáveis, o modelo é linear múltiplo (Peres-Neto *et al.*, 1995). A forma geral do modelo de regressão linear simples é dada pela expressão 2.1 e do modelo de regressão linear múltipla é dado pela expressão 2.2 (Coelho-Barros *et al.*, 2008):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.1)$$

Em que,

Y corresponde à variável dependente, X é a variável independente e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  são os parâmetros do modelo a estimar.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.2)$$

Onde:

$Y_i$  - variável dependente. O  $i$  representa a observação amostral  $i$  em  $n$ ;

$X_{p-1}$  - variáveis independentes ou explicativas;

$\beta_k$  - parâmetros do modelo indicadores do valor esperado de Y, com o aumento de uma unidade de  $X_k$ , quando todas as outras variáveis explicativas no modelo permanecem constantes.

$\varepsilon_i$  - termo aleatório representativo das variáveis com poder explicativo sobre a variável dependente que não são incluídas no modelo.

Os modelos de regressão linear múltipla favorecem o tratamento de séries cronológicas, pois implicam uma correta especificação do modelo e expressam a importância individual dos parâmetros (Carvalho, 2013).

Por outro lado, Billings & Jones (1996) afirmam que o desempenho de um modelo de regressão está relacionado com a restrição aplicada às variáveis intervenientes e na omissão das variáveis insignificantes. Estes autores recorrem a um modelo de regressão linear múltipla (expressão 2.3) para descrever o consumo residencial ou doméstico médio mensal de água.

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \text{RAIN} + \beta_2 \text{TEMP} + \beta_3 \text{PRICE} + \beta_4 \text{INCOME} + \beta_5 \text{HHSIZE} + \varepsilon \quad (2.3)$$

Onde,

Q – consumo de água mensal [milhões de galões]

$\beta_0$  – constante ou interceção do modelo

$\beta_i, i=1,2,3,4,5$  – coeficientes de declive estimados

RAIN – precipitação mensal [polegadas]

TEMP – temperatura média mensal [°F]

PRICE – preço por milhões de galão [dólar]

INCOME – renda média anual por habitação familiar [dólar]

HHSIZE – número de habitantes por habitação familiar

$\varepsilon$  – erro residual de estimação

Também Babel *et al.* (2007) desenvolveram um modelo de regressão linear entre o consumo interno total de água e múltiplas variáveis, nomeadamente o número de ligações à rede de abastecimento, taxas de tarifas de abastecimento de água, proporção do número de estudantes universitários face à população total e precipitação anual.

No contexto da escassez de recursos hídricos e crescentes alterações climáticas, Fanning (1993) utilizou um modelo de regressão linear múltipla para estudar, no estado de Georgia, a influência da precipitação acumulada e da temperatura nos consumos *per capita* de água. O coeficiente de determinação resultante da avaliação do modelo indica que 56 % do consumo *per capita* é explicável pelos parâmetros meteorológicos incluídos.

Outros autores como Protopapas *et al.* (2000), Gato *et al.* (2007) e Costa (2012) adotaram metodologias baseadas em séries cronológicas e desenvolveram modelos de regressão linear para projeção de consumos de água. As variáveis meteorológicas mais significativas são a temperatura, a precipitação e a humidade relativa do ar.

### **2.3.1.1 *Qualidade do ajuste dos modelos de projeção linear múltipla***

As formulações dos modelos de regressão linear múltipla são baseadas em séries de dados e estimativas de parâmetros. A sua avaliação assenta em testes estatísticos que permitam concluir sobre a adequabilidade e a credibilidade da expressão concebida (Tarré, 2009).

Neste contexto, surge a análise de variância (*Analysis of Variance* – ANOVA) como uma das técnicas comumente empregue em estudos estatísticos. Baseada num conjunto de testes de significância, a ANOVA apresenta as estatísticas de teste resultantes, que quantificam a capacidade explicativa do modelo (Ferreira, 2013).

O primeiro teste de significância é respeitante à capacidade explicativa do modelo de regressão, na sua globalidade. Com recurso ao teste de hipóteses *F-test*, é avaliado o grau de significância da relação entre a variável dependente e as independentes. Com um nível de confiança de 95 %, valores de F elevados mostram que o modelo permite que a variável dependente seja explicada pelas independentes (Ferreira, 2013).

A análise da variância, por sua vez, inclui o teste de significância individual para cada parâmetro que compõe o modelo. A estatística de teste *t-student* avalia a capacidade explicativa de cada coeficiente estimado e respetiva a contribuição para o modelo. Com um nível de confiança de 95 %, as variáveis explicativas devem ser mantidas no modelo se os valores de prova forem inferiores a 0,05 (Montgomery & Runger, 2003).

Acompanhando os testes de significância, a análise de variância inclui os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa (do inglês *Standard Error of the Estimate*). A qualidade do modelo será tanto maior, quanto mais próximo da unidade estiver o coeficiente de determinação. O erro padrão da estimativa (SEE) indica, de forma aproximada, a diferença residual entre os valores de obtidos pelo modelo e os valores reais. Quanto menor o erro, maior o poder de explicação e ajuste do modelo (Montgomery & Runger, 2003).

### **2.3.1.2 *Independência das variáveis dos modelos de projeção linear múltipla***

Após a formulação dos modelos de regressão, importa realizar a análise de diagnóstico que permite identificar alguns distúrbios presentes nos dados e que prejudicam a estimação dos parâmetros e a qualidade dos modelos (Souto-Maior & Cysneiros, 2009).

Esta análise permite detectar a ocorrência de multicolinearidade, isto é, existência de fortes relações lineares entre variáveis independentes (Tarré, 2009). A multicolinearidade prejudica a estimação dos coeficientes e distancia os fenômenos estudados dos valores resultantes dos modelos (Matos, 1995). É detectada através de coeficientes de correlação elevados e não significativos, valores de tolerância próximos de zero ou fatores de inflação da variância (*Variance Inflation Factor*, VIF) superiores a 5 (Miloca & Conejo, 2014)

A análise de diagnóstico incide no estudo da independência das variáveis residuais, ou seja, a relação entre os resíduos ou erros produzidos pelos modelos de regressão. Quando gerados por séries cronológicas, os modelos podem apresentar efeitos de autocorrelação residual. Em consequência, é afetada a credibilidade do modelo, a eficiência dos parâmetros estimados e a aplicação de testes de significância, que conduzem a falsas conclusões.

Para detectar autocorrelação nos resíduos é utilizado o teste de *Durbin-Watson*, baseado na diferença entre valores de resíduos sucessivos. Quanto mais próximo de 2 for o valor de teste, menor é a probabilidade de ocorrência de autocorrelação residual (Tarré, 2009).

### 2.3.2 Modelos de regressão não linear

Na modelação por regressão não linear, pelo menos um dos parâmetros intervenientes segue uma função não-linear e os dados cronológicos são interpretados de forma simples ou multivariável, como representado na forma geral pela expressão 2.4.

$$Y = \alpha_0 (X_1^{\alpha_1}) (X_2^{\alpha_2}) \dots (X_n^{\alpha_n}) \quad (2.4)$$

Onde,

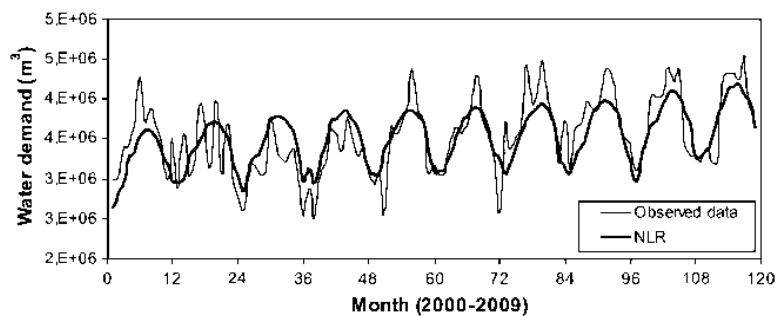
$Y_i$  – variável dependente (aleatória);

$X$  – variável independente medida sem erro (aleatória);

$\alpha_0$ -  $\alpha_n$  – função não linear dos parâmetros do tipo polinomial, exponencial, logarítmica ou outra.

No método de regressão não linear é imprescindível uma seleção dos parâmetros com maior grau de explicação, proporcionando um nível de projeção mais elevado (Yasar, Bilgili & Simsek, 2012) e melhor qualidade e ajuste finais, comparativamente com a regressão linear (Oliveira, 2004).

Yasar, Bilgili & Simsek (2012) aplicaram o método da regressão múltipla não linear nos consumos de água, em função de variáveis socioeconómicas e meteorológicas (temperatura, humidade, precipitação, radiação solar, insolação, velocidade do vento, pressão atmosférica). A relação entre os parâmetros explicativos foi estudada iterativamente, até à definição de uma função não linear com erro consideravelmente reduzido. O confronto entre os dados estimados pelo modelo e os registos observados, no período de 2000 a 2009, é apresentado graficamente na Figura 2.3.



**Figura 2.3** Dados estimados e observados (retirado de Yasar, Bilgili & Simsek, 2012)

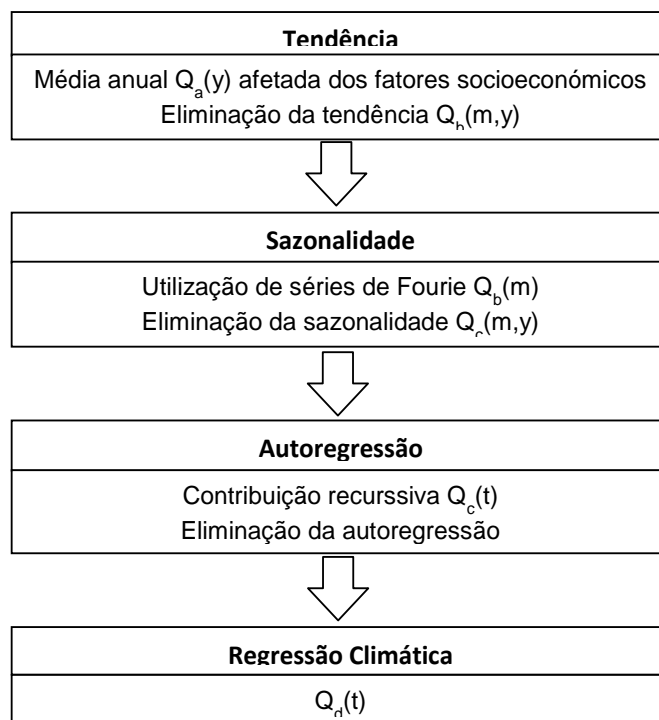
### 2.3.3 Modelação em cascata

Um modelo de séries cronológicas de consumos de água pode ser formulado com recurso a um conjunto de equações representativas da tendência, da sazonalidade, da autocorrelação e da correlação climática, designado por modelo em cascata (Maidment & Prazen, 1984).

A tendência reflete as variações do número de habitantes, do preço da água e do rendimento a nível familiar, enquanto que a sazonalidade traduz as variações periódicas existentes no decorrer do tempo. Os parâmetros das equações de cada etapa podem ser determinados por transformações sequenciais, relacionadas entre si (modelos de autoregressão) (Silva *et al.*, 1995). A Figura 2.4 representa o plano de funcionamento da modelação em cascata.

Maidment & Prazen (1984) recorreram à modelação em cascata para projetar os consumos de água da região do Canyon, entre 1961 e 1978. O modelo baseia-se numa série cronológica ponderada em quatro fatores: tendência da variável socioeconómica, sazonalidade, autocorrelação e correlação climática. O método revela-se complexo e moroso, relativamente à regressão linear múltipla. Contudo, seria o mais adequado tendo em conta a irregularidade das séries de consumos de água.





**Figura 2.4** Modelação em cascata (adaptado de Silva et al., 1995)

### 2.3.4 *Redes neuronais artificiais*

De acordo com Borges (2003), a projeção de consumos de água pode basear-se em técnicas recentemente implementadas, assentes em sistemas inteligentes, que pretendem reproduzir a capacidade de decisão humana - as redes neuronais artificiais (RNAs), algoritmos genéticos, lógica *Fuzzy*, entre outras metodologias. As RNAs partem do processamento de informação e resultam numa estrutura matemática não linear, adaptável a sistemas complexos e eficientes como as projeções dos consumos de água (Haykin, 1999).

Comparativamente aos restantes métodos, as RNAs tornam-se generalizáveis para um dado sistema ou região e facilmente adaptáveis a alterações das condições de operação (Santos, 2011).

Baxter *et al.* (2001) recorreram a RNAs para projetar os consumos de água de Edmonton, com vista à minimização dos custos de energia gastos nos sistemas de bombagem, que representam uma parte significativa no consumo de energia total dos sistemas de abastecimento. As RNAs permitiram uma comparação dos consumos de água em dias úteis e fins-de-semana ou feriados, consumos sazonais e em horas de ponta.

Para projetar os consumos diários de água em Seul, Joo *et al.* (2002) basearam-se nas correlações entre fatores naturais e socioeconómicos. Através das RNAs, desenvolveram um modelo otimizado com igual número de parâmetros ocultos e de entrada.

Da mesma forma, também Falkenberg *et al.* (2003) estudaram a projeção do consumo de água de um bairro da cidade de Ponta Grossa, com base num conjunto de dados dos cinco anos anteriores, modelados por meio de RNAs e modelos de regressão linear múltipla. Para ambos os métodos foram utilizadas somente as variáveis mais influentes e testadas quatro diferentes combinações de entrada na rede.

Utilizando uma RNA com três camadas e distinção de dados de entrada conforme cada estação do ano, Silva (2003) projetou os consumos horários de água. O autor defende as vantagens da utilização das RNAs em projeções de curto prazo face aos métodos estatísticos, devido ao menor número de dados de entrada necessários.

### **2.3.5 Análise comparativa de modelos de projeção**

A metodologia de projeção utilizada difere consoante a disponibilidade e qualidade dos dados cronológicos. O método de tratamento e extrapolação dos mesmos dados torna-se determinante para a obtenção de um modelo qualificado. A comparação de casos de estudo que contemplem diferentes métodos e a identificação das respetivas adversidades, possibilitam a decisão sobre uma metodologia o mais verosímil possível.

Falkenberg (2005) aplica métodos de regressão linear múltipla, modelos do tipo Box & Jenkins e as RNAs aos consumos de água de várias localidades. O autor propõe a elaboração de dois métodos híbridos que conjuguem as redes neurais e regressões lineares ou diferentes tipos de modelos Box & Jenkins. Conclui que a aplicação não é vantajosa quando aplicada a locais com comportamentos e práticas distintas. A cada local deve ser atribuída uma combinação dos aspetos mais adequados de cada método, de forma independente.

Modelos mistos entre redes neurais e regressões lineares adaptam-se a projeções menos longínquas, devido à boa performance em interpolações. Já os modelos do tipo Box e Jenkins apresentam melhores resultados para projeções de vinte e quatro horas, devido à sua capacidade de autocorreção. Os modelos de regressão são menos precisos e exigem bastantes variáveis para a inclusão do efeito de sazonalidade. Os métodos de inteligência artificial demonstram melhores resultados a curto prazo (Jain & Ormseebe, 2002).

BuHamra *et al.* (2003), por outro lado, desenvolveram um estudo sobre o desempenho dos modelos do tipo Box e Jenkins e RNAs, para modelar séries cronológicas de consumos de água no estado do Kuwait. Os modelos de Box & Jenkins projetaram dados não registados, no período de 1990 a 1991, e uma RNA projetou o consumo de água entre 1980 e 1999. As variáveis estimadas pelo método de Box e Jenkins, utilizadas na RNA, proporcionaram um modelo com melhor desempenho do que os convencionais.

No caso de Rhoades & Walski (1991), estes desenvolveram a projeção dos consumos de água mensais de Austin, segundo variáveis meteorológicas e populacionais. Concluem que os métodos de regressão múltipla, apesar de menos precisos, são os menos dispendiosos e bastante úteis na tomada de decisões e na gestão dos sistemas de abastecimento de água.

No caso de Júnior (2004), este desenvolveu uma análise sobre os métodos de previsão de consumo de água para um curtíssimo prazo, em Curitiba. Utilizou o método de ajuste exponencial e RNAs, com base em séries de dados históricos de consumos de água de duas regiões distintas: uma com consumos de água predominantemente domésticos e outra com requisitos comerciais e industriais. Apesar de não existir um modelo ideal para qualquer sistema de abastecimento, os modelos de ajuste exponencial demonstram ser bastante precisos, facilmente compreendidos, menos dispendiosos e menos exigentes relativamente ao volume de dados históricos de base.

Bougadis *et al.* (2005) desenvolveram um estudo da projeção dos picos de consumo de água a curto prazo, com base nas variáveis climáticas, no crescimento da população e nos dados históricos das cidades de Ottawa e Ontário. A sua investigação surgiu no decorrer do crescimento populacional e da necessidade de dimensionamento do sistema de abastecimento de água da região. Os autores compararam a performance de três modelos de regressão, sete séries cronológicas e três RNAs, concluindo que estas últimas superam a potencialidade de projeção dos restantes métodos.

Zhang *et al.* (2006) proporcionaram uma evolução nos estudos da projeção de consumos de água utilizando as RNAs. Também com recurso a dados históricos, utilizaram extrapolações de dados e correlações não lineares entre os consumos de água a curto prazo e as variáveis climáticas, temperaturas máximas, humidade relativa e precipitações médias.

Posto isto, de acordo com o horizonte de projeção, os modelos de regressão aplicam-se facilmente para médios e longos prazos, os modelos auto-regressivos de séries cronológicas adequam-se a curtos e médios prazos e os modelos baseados em inteligência artificial enquadram-se mais facilmente em projeções de curto prazo (Junior, 2004 & Adamowski *et al.*, 2012).

No entanto, os estudos e trabalhos desenvolvidos demonstram que a escolha do método de projeção depende de vários aspetos, pelo que, cada caso deverá ser analisado individualmente.

### 3 UNIVERSO AMOSTRAL

#### 3.1 Região Norte

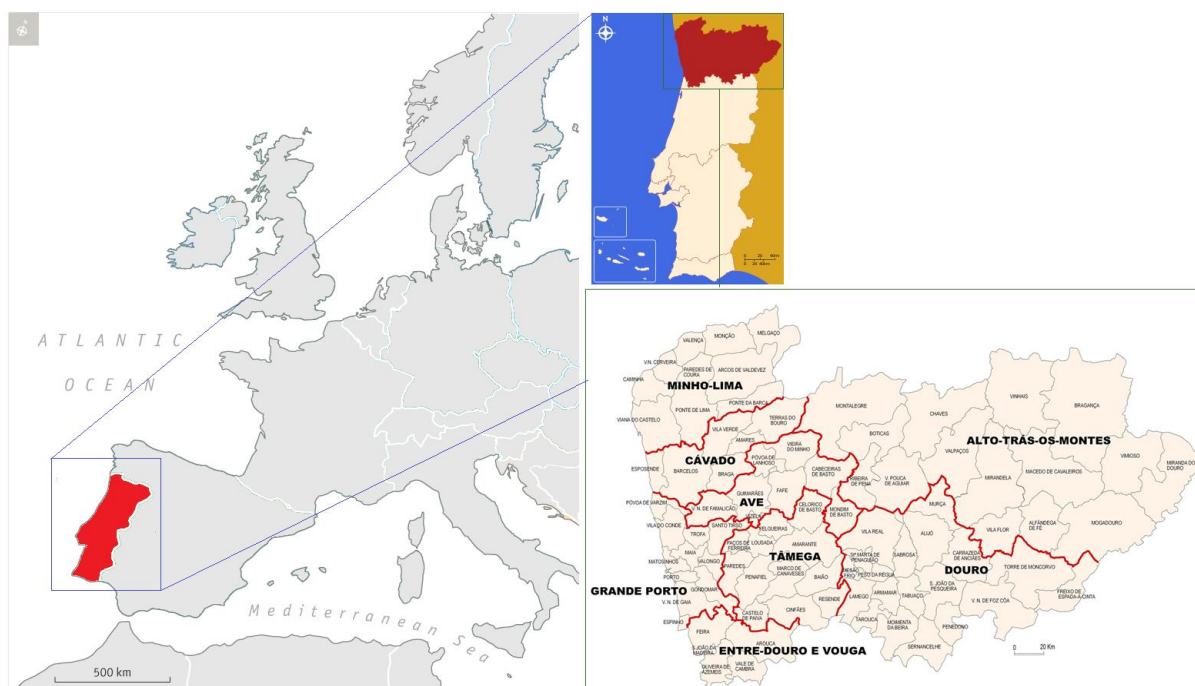
##### 3.1.1 Localização e descrição geográfica

O estudo da projeção dos consumos de água, tendo por base as variáveis meteorológicas, incide no norte de Portugal continental.

A região norte, outrora pertencente às províncias Entre-Douro-e-Minho e Trás-os-Montes, foi destacada em 1969 como unidade administrativa e dividida nas sub-regiões do litoral norte (distritos de Viana do Castelo, Braga e Porto) e do interior norte (distritos de Vila Real e Bragança). Corresponde a uma área geográfica de 21 278 km<sup>2</sup>, que equivale a cerca de 24 % da área superficial de Portugal continental.

Atualmente, com a divisão do país em unidades territoriais conforme indicado pelas diretivas europeias, a região norte corresponde a uma unidade territorial estatística de nível II (NUTS II), que inclui 8 sub-regiões nível III (NUTS III). Nomeadamente: Minho-Lima, Cávado, Ave, Grande Porto, Tâmega, Entre Douro e Vouga, Douro e Alto Trás-os-Montes.

No total, apresenta 86 concelhos e 5 distritos, cuja subdivisão está representada na Figura 3.1.



**Figura 3.1** Localização e subdivisão da região norte em unidades territoriais

### **3.1.2 População**

De acordo com os CENSOS 2011 (INE, 2011), a região norte apresenta cerca de 3.689.682 habitantes. Isto corresponde a 35 % da população total a nível nacional, distribuída desigualmente pela faixa litoral e pelos municípios do interior. De acordo com as estimativas do Instituto Nacional de Estatística, os municípios mais numerosos correspondem às regiões do Grande Porto, Tâmega, Ave e Cávado, representando cerca de 75 % da população residente na região norte. Contrariamente, o Alto Trás-os-Montes e o Douro são menos populosos, representando somente 11 % da população residente na região norte.

Estas discrepâncias populacionais devem-se aos distintos modos de vida e atividades desempenhadas por cada município. Os locais situados ao longo da faixa litoral relacionam-se fortemente com as atividades económicas ligadas ao comércio, à pesca e ao turismo. Contrariamente, os municípios do interior apresentam uma população mais idosa, menos diversificada e dependente da agricultura e da indústria.

### **3.1.3 Caracterização climática**

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a caracterização do clima baseia-se em valores médios relativos a diferentes parâmetros climáticos, num período de 30 anos. Os dados mais recentes são relativos ao período de 1971 a 2000.

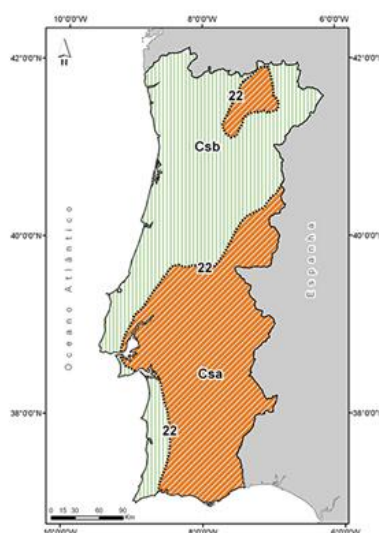
Portugal apresenta um clima mediterrânico dos mais amenos a nível europeu. As características do clima Português e a sua evolução ao longo do ano dependem, primeiro, da sua posição geográfica relativamente ao Oceano Atlântico, e segundo, das variações regionais resultantes do diferencial de latitudes entre o litoral e o interior. A exposição direta à influência oceânica e a altitude distinguem diferentes características climáticas no território nacional.

Nas regiões norte e litoral, os meses de primavera e verão apresentam temperaturas mais amenas, enquanto que as estações mais frias (outono e inverno) são tipicamente ventosas, chuvosas e frias, atingindo temperaturas negativas. Quanto mais afastado da costa, mais baixas são as temperaturas no inverno, menores são as intensidades de precipitação e mais acentuados são os períodos de nevoeiro.

No sentido de melhor classificar o clima da Península Ibérica, foi elaborado o atlas ibérico pela Agência Estatal de Meteorologia de Espanha e pelo Departamento de Meteorologia e Clima português. Utiliza a classificação climática de Köppen-Geiger como método de diferenciação dos climas e sub-climas da Península Ibérica. Esta classificação está presente na tabela A1.1 do Anexo I.

De acordo com este tipo de classificação, o território português apresenta um clima temperado (tipo C) e um sub-clima temperado húmido, com verão seco (tipo Cs).

A região norte é caracterizada por duas variantes climáticas resultantes das influências marítima e continental, nomeadamente, um clima temperado com verão quente e seco (tipo Csa) e um clima temperado com verão seco e suave, do tipo Csb. Este último abrange apenas uma parte das regiões de Alto-Trás-os-Montes e Douro (Figura 3.2).



**Figura 3.2** Clima de Portugal Continental segundo a classificação de Köppen (adotado do IPMA)

## 3.2 Águas do Noroeste

### 3.2.1 Origem e objetivos

A Águas do Noroeste, S.A. (AdNw) iniciou a sua atividade a 4 de junho de 2010, vindo substituir o sistema multimunicipal de captação, tratamento e abastecimento de água do norte do Grande Porto (fundado em 1993), e os sistemas multimunicipais de abastecimento de água e de saneamento do Minho-Lima e do Vale do Ave, criados em 2000 e 2002 respetivamente.

O surgimento da Águas do Noroeste, S.A. adveio da coligação das sociedades Águas do Cávado, S.A., Águas do Minho e Lima, S.A. e Águas do Ave, S.A. Esta união intenta alcançar um melhor serviço prestado aos utilizadores e o desenvolvimento socioeconómico das regiões em causa, através de um conjunto de infraestruturas de abastecimento de água e saneamento multimunicipal.

A empresa pretende a mitigação de impactos ambientais e sociais, aliando a importância do equilíbrio nos recursos hídricos à sustentabilidade económica da região. Estes aspetos vão de encontro à estratégia aprovada pelo Ministro do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional para o abastecimento e saneamento de águas residuais, para o período de 2007 a 2013.

Sendo concessionária do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água (SMAAN) e de Saneamento do Noroeste, incumbe à AdNw a sua exploração e gestão, o cumprimento da legislação em vigor, a integração e a organização entre as partes interessadas.

### ***3.2.2 Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Noroeste***

O SMAAN realiza a captação, tratamento e distribuição de água potável, a cerca de 1.122 milhão de habitantes. Desde junho de 2010, o SMAAN tem sofrido um crescimento infraestrutural, totalizando em 2013 32 captações, 7 estações de tratamento de água (ETA), 23 instalações de tratamento (IT), 984,88 km de condutas instaladas, 45 estações elevatórias (EE) e 170 reservatórios.

O SMAAN está dimensionado para fornecer cerca de 54 milhões de m<sup>3</sup> de água potável por ano. Atualmente, o consumo médio anual de água é de cerca de 35 milhões de m<sup>3</sup>, pelo que o SMAAN encontra-se sobredimensionado e preparado para situações adversas. A taxa de cobertura populacional aumentou de 80 %, em 2010, para 97 %, em 2013. Juntamente com a crescente razão entre os volumes de água faturados e fornecidos, confirmam um balanço de atividade bastante positivo.

Este sistema é suportado pelos centros operacionais Minho, Lima, Ave e Cávado, abrangendo uma área geográfica de 6.000 km<sup>2</sup> e um total de 32 municípios: Amarante, Amares, Arcos de Valdevez, Barcelos, Cabeceiras de Basto, Caminha, Celorico de Basto, Esposende, Fafe, Felgueiras, Guimarães, Lousada, Maia, Melgaço, Monção, Mondim de Basto, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Santo Tirso,

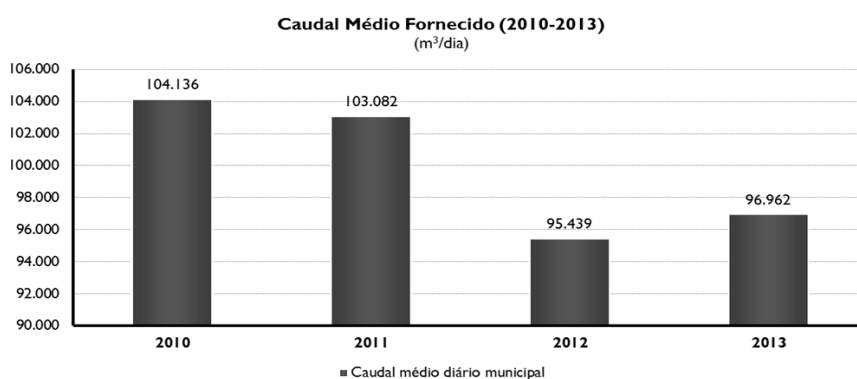


Terras de Bouro, Trofa, Valença, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Conde, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Verde e Vizela. Cada um dos municípios apresenta infraestruturas aptas para que seja garantido o abastecimento de água permanente, em quantidade suficiente e qualidade adequada.

A maioria das captações é de natureza superficial. Apenas os municípios de Fafe e Paredes de Coura são detentores de captações subterrâneas (furos e nascentes). A cada ETA ou IT corresponde um ou vários pontos de entrega de água para consumo, tal como é listado na Tabela A.2.1 do Anexo II.

Desde as captações até aos pontos de entrega, a qualidade e distribuição das águas para consumo, a manutenção, gestão e controlo dos reservatórios são da responsabilidade da AdNw. Cada município fica encarregue dos serviços de distribuição domiciliária de água aos seus destinos (edificações, espaços públicos, serviços, entre outros), contratando geralmente empresas concessionárias para o efeito.

Desde 2010 constatou-se uma diminuição dos volumes de água fornecidos pela AdNw. Este facto está relacionado com os planos de contenção de perdas de água, colocados em prática pela maioria dos municípios do noroeste, com vista à diminuição dos custos e à poupança da água distribuída. Estas medidas resultaram na restauração de partes da rede de distribuição de água e colmatação de fugas de água, resultando no decréscimo verificado na Figura 3.3.



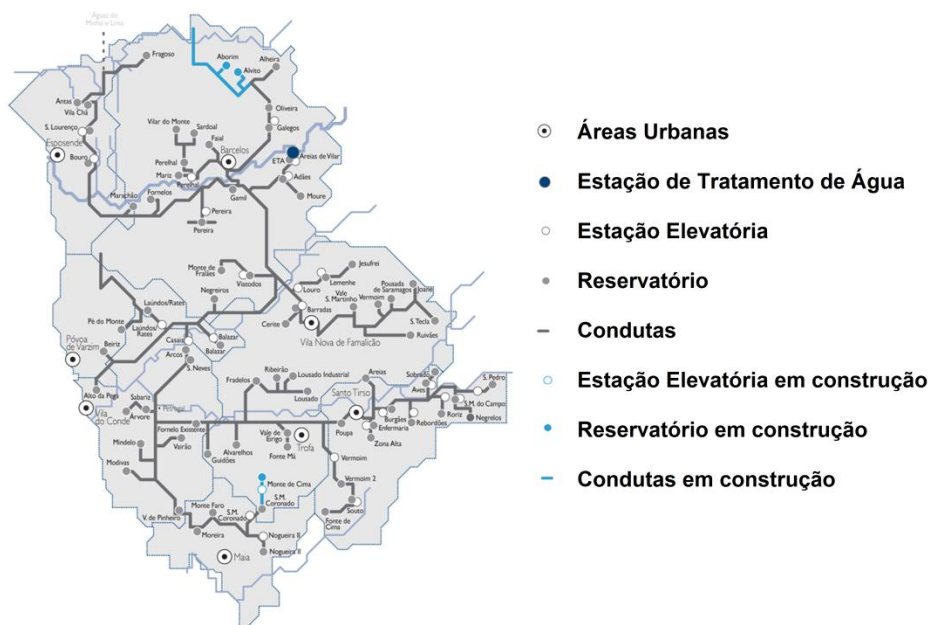
**Figura 3.3** Redução dos caudais médios diários dos municípios abastecidos pelo SMAAN

### 3.2.3 *Subsistema Multimunicipal de Abastecimento de Água de Areias de Vilar*

O Subsistema Multimunicipal de Abastecimento de Água de Areias de Vilar (SAV) abastece os municípios de Barcelos, Esposende, Maia (norte), Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa,

Vila do Conde e Vila Nova de Famalicão, correspondendo a uma população residente estimada em 540.328 habitantes.

O SAV engloba a captação, tratamento, adução e reserva de água (sistema em alta), comprometendo-se a fornecê-la às redes de distribuição domiciliárias de cada município (sistema em baixa). A Figura 3.4 apresenta a configuração física do SAV, incluindo os pontos de entrega e três ligações para o abastecimento de água a indústrias situadas em Vila Nova de Famalicão e Vila do Conde.



**Figura 3.4** Configuração do SAV

O SAV tem atualmente em serviço uma ETA, 29 estações elevatórias, 76 reservatórios e aproximadamente 330 km de condutas adutoras. A água bruta é captada no rio Cávado, em Areias de Vilar (concelho de Barcelos), a jusante da albufeira de Penide. A capacidade dos reservatórios de água bruta equivale a um dia de funcionamento da ETA, o que traduz a flexibilidade do sistema face a incidentes de escassez de água, turvação na origem ou ocorrências pontuais de poluição. A capacidade de reserva de água na adução aproxima-se dos 170.000 m<sup>3</sup>.

### 3.2.3.1 Sistema de informação e administração do SAV

Os sistemas informatizados de recolha de dados auxiliam na previsão de volumes de água requeridos, na capacidade de intervenção e na fiscalização ao longo do sistema de abastecimento de água. De forma automática, é possível obter os registos de caudais de água

instantâneos, detetar eventuais anomalias na rede (roturas acidentais, excesso ou falta de pressão na rede) e validar os volumes de água fornecidos para posterior faturação.

Desde 1999 que o SAV tem vindo promover a informatização de dados. Para o efeito, um conjunto de medidores de caudais eletromagnéticos está distribuído pelos pontos de entrega. A rede de telecomunicações, outrora constituída por fios de cobre, foi substituída por ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) e, mais recentemente, por fibra ótica, permitindo a transmissão de dados com elevada fiabilidade e rapidez. Os dados são disponibilizados e agregados num programa de supervisão (SCADA), que permite obter o histórico de caudais, aceder a gráficos, análises e relatórios, constituindo uma ferramenta útil na gestão dos volumes de água para abastecimento.

### ***3.2.3.2 Obtenção de dados dos consumos municipais de água***

Um modelo de projeção deve basear-se em dados fidedignos, pelo que, o presente estudo será realizado sobre um conjunto de observações, delimitadas no tempo e espaço.

De acordo com Brandão (2005), uma amostra estatística consiste num subconjunto sobre o qual o estudo estatístico permite obter informações representativas da população à qual pertence. Portanto, o grau de complexidade seria bastante elevado ao integrar toda a população e a totalidade dos pontos de entrega do SAV.

De forma a ser possível obter um modelo de projeção representativo da evolução dos volumes de água nos municípios do noroeste, admitiu-se um período amostral de 6 anos, compreendido entre 1 de janeiro de 2008 e 31 de dezembro de 2013. A seleção dos reservatórios de água para consumo assentou nos seguintes critérios:

- A data de entrada em serviço de cada reservatório obrigatoriamente antes de 1 de janeiro de 2008;
- A existência de medição de caudal à saída das células de armazenamento de água, facultando uma permanente leitura de dados.

A única objeção reside na escassez de dados de consumos entre 2008 e 2009 na maioria dos reservatórios abrangidos pelo SAV, devido à alteração das infraestruturas de telecomunicações e na ausência de registos anteriores. Desta feita, tornou-se imperativa a

seleção de um reservatório por município. Excepcionalmente, o município da Maia não será incluído na investigação por não cumprir o segundo critério enunciado.

Os municípios abastecidos pelo SAV estão localizados geograficamente nas regiões do Cávado, Ave e Grade Porto. É notória a proximidade existente entre as regiões. No entanto, poderá ser determinante a diferença de consumos de água entre os municípios localizados em zonas costeiras (como a Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende) e interiores (como Vila Nova de Famalicão, Barcelos, Trofa e Santo Tirso).

Para melhor ilustrar estes dados, na Tabela 3.1, são discriminados os municípios e respetivos reservatórios que melhor cumprem os requisitos propostos para o presente estudo. Na Figura 3.5 é apresentado um esquema da rede de abastecimento do SAV e destacados os reservatórios alvos de estudo.

**Tabela 3.1** – Municípios, reservatórios e respetiva capacidade e nível e de funcionamento

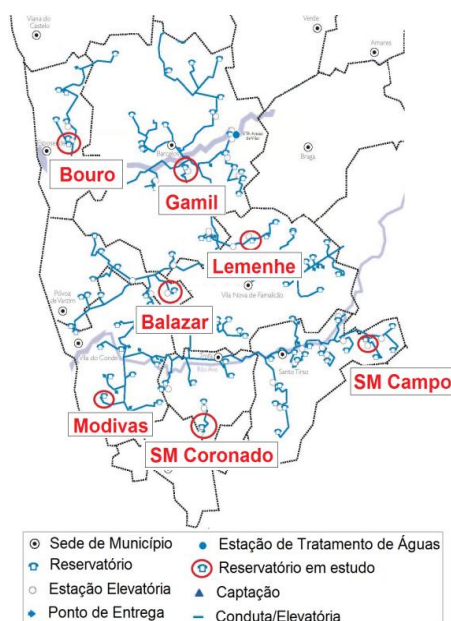
Município	Reservatório	Capacidade unitária[m <sup>3</sup> ]	Número de células em serviço	Nível de Funcionamento [%]	Dias de reserva
Póvoa de Varzim	RR Balazar	325	1	90%	0,92
Esposende	RR Bouro	1600	2	90%	1,17
Barcelos	RR Gamil	2000	2	50%	2,90
Vila do Conde	RR Modivas	750	0	Ponto Entrega direto	-
Vila Nova de Famalicão	RR Lemenhe	500	2	90%	1,36
Santo Tirso	RR S. Martinho do Campo	750	1	40%	1,40
Trofa	RR S. Mamede do Coronado	500	2	90%	1,20

### 3.3 Rede de Estações Meteorológicas

#### 3.3.1 Plataforma Weather Underground

De forma a concretizar um modelo de projeção o mais fidedigno possível, é crucial o recurso a uma fonte de dados segura e legítima (Downey, 2006).

Para a obtenção das séries de dados meteorológicos, foi tido em consideração o necessário paralelismo com o conjunto de dados cronológicos de consumos de água. Os registos meteorológicos devem corresponder à área amostral considerada, bem como ao período de tempo definido, com o mínimo de falhas possível.



**Figura 3.5** Esquematização da rede de abastecimento do SAV e localização dos reservatórios selecionados para estudo (Escala 1: 300.000)

Estes critérios, acrescidos de limitações de índole financeira e a suspensão de diversas estações meteorológicas na região do noroeste português, reduziram consideravelmente o acesso a diversas bases de dados.

Posto isto, o levantamento de dados meteorológicos teve origem na plataforma *on-line* *Weather Underground* (WU) fundada na América do Norte, em 1995, com o intuito inicial de recolher dados meteorológicos de estações amadoras ou automáticas, relacionadas com os aeroportos. Atualmente a WU coleta dados meteorológicos a nível internacional, a partir de mais de 29 mil estações meteorológicas. Entre elas, cerca de 6.000 são de propriedade governamental, 16.000 operam em aeroportos e mais de 8.000 são estações meteorológicas pessoais (*Personal Weather Stations - PWS*), utilizadas como fonte de dados para o presente estudo.

As PWS são instrumentos medidores das condições meteorológicas, constituídos por termómetros, barómetros, anemómetros, hidrómetros, pás eólicas e integradores de medição do índice ultravioleta, teor de humidade e temperatura do solo e da água. Os seus proprietários são meteorologistas amadores e cientistas que integram a comunidade da WU.

Desde 2001 que estes utilizadores compartilham o conjunto de dados obtido das PWS em formato numérico e gráfico, resultando num fluxo de dados constante e preciso que permite um sistema de previsão meteorológica fidedigno. Estes registos são importantes para diversos

setores produtivos como a agricultura e, mais recentemente, para a tomada de medidas de prevenção sobre as alterações climáticas.

### ***3.3.2 Seleção das PWS e definição das séries meteorológicas***

Os consumos de água são fortemente influenciados pelas variáveis meteorológicas da temperatura, o teor de humidade e a precipitação (Downey, 2006; Falkenberg, 2005). Apesar das PWS facultarem registos de outros parâmetros meteorológicos, apenas serão consideradas as variáveis meteorológicas referidas, responsáveis pela explicação do modelo de projeção.

A seleção das PWS tem como base os seguintes critérios:

- Localização geográfica no noroeste: região de Minho/Lima, Ave, Cávado, Grande Porto;
- Séries de dados meteorológicos diários compreendidos entre 1 de janeiro de 2008 e 31 de dezembro de 2013;
- Registos diários de temperatura, humidade e precipitação;
- Reduzido número de dias sem qualquer dado meteorológico (falha de dados).

Como resultado da filtragem, obtiveram-se as PWS localizadas na Trofa, Braga, Leça da Palmeira, Guimarães e Melgaço, assinaladas na Figura 3.6. Considerando o período amostral de 6 anos, a percentagem de inexistência de dados meteorológicos diários é de 2,1 %, 70,1 %, 19,1 %, 34,4 % e 10,9 %, respetivamente às PWS enunciadas. A falta de dados deve-se, maioritariamente, à falha de energia repentina, fortes ventos ou chuvas que interditaram o funcionamento da estação e conseqüentemente a transmissão de dados.

Residiu a impossibilidade de detenção de uma PWS por cada município em estudo e a ponderação de falhas mostrou-se elevada para todas as PWS selecionadas, à exceção da PWS localizada na Trofa. Para efeitos de formulação do modelo de projeção, é fundamental obter séries de dados representativas do estado meteorológico presenciado no noroeste.



**Figura 3.6** Localização geográfica das PSW selecionadas (adaptado de *wundermap*)





## 4 TRATAMENTO DOS DADOS CRONOLÓGICOS

### 4.1 Pressupostos Iniciais e Processos de Tratamento

Para o processo de organização e preparação dos dados cronológicos e análise gráfica dos mesmos, foi utilizada como ferramenta informática o *Microsoft Excel 2010*. No âmbito da análise estatística descritiva recorreu-se ao *software IBM SPSS*, versão 22.0.0.0.

A concretização do modelo de projeção de consumos de água (MPCA) deve seguir uma análise estatística das séries de dados cronológicos, essencial para a compreensão e caracterização do comportamento das variáveis.

Visto que as séries cronológicas dos dados meteorológicos e de consumos de água são facilmente alteráveis no tempo, remetem para perspetivas de curto e médio prazo. Tendo em conta o caráter volátil que a meteorologia suscita nos consumos de água (Billings & Jones, 1996), os registos diários e mensais da mesma permitirão concluir acerca do comportamento das variáveis e dos efeitos sazonais sentidos em cada município.

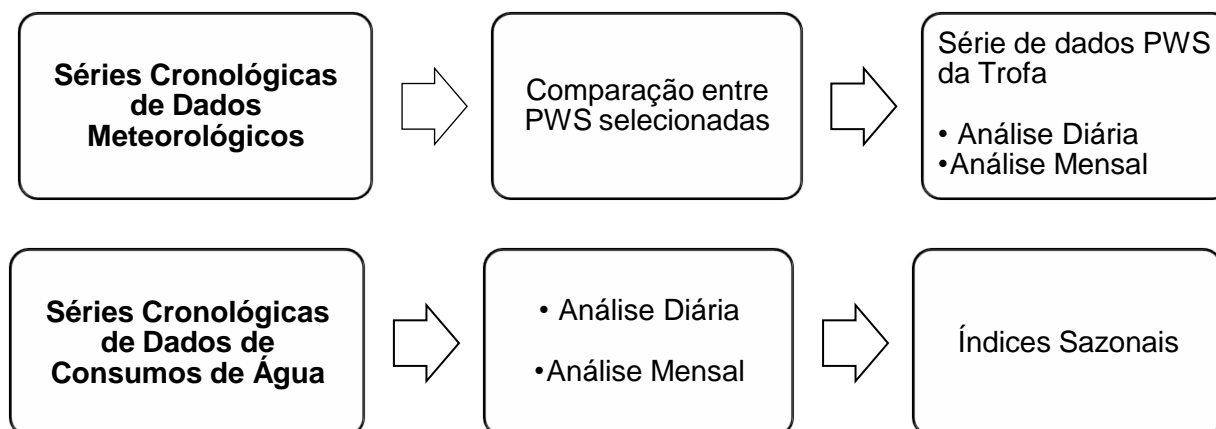
Relativamente às variáveis meteorológicas, foram selecionadas a temperatura do ar, o teor de humidade relativo do ar e a precipitação. Para uma melhor compreensão dos valores extremos e de qual o seu impacto nos consumos de água, a temperatura e a humidade foram fracionadas em 3 parâmetros: mínimo, médio e máximo.

Excepcionalmente, a precipitação é traduzida em dois parâmetros: precipitação total –  $P_{total}$  – (altura de água, em mm, no pluviómetro 24 horas após o registo anterior) e ocorrência de precipitação -  $P_{ocor}$  - traduzida numa variável binária que assume um valor nulo se não ocorrer precipitação ou um valor unitário, caso se verifique o contrário. Este último parâmetro permite avaliar o impacto causado no consumo de água diário, caso tenha, ou não, ocorrido precipitação nesse dia. Durante um mês, a probabilidade de ocorrência de precipitação é bastante elevada, sobretudo na região noroeste, o que não permite concluir acerca da sua influência nos consumos de água mensais.

Os dados meteorológicos das PWS selecionadas não contribuem positivamente para a formulação dos MPCA, devido às significativas falhas existentes. No reflexo do demonstrado no Capítulo 3, toda a região noroeste apresenta um sub-clima do tipo Csb, pelo que se comprova o forte grau de relacionamento entre os registos das PWS. No final, apenas as séries

de registos da PWS da Trofa serão alvo de interesse para os MPCA, pela razão exposta anteriormente.

Os dados cronológicos de consumos de água são sujeitos a uma organização e análise mais criteriosa devido à ausência ou irregularidade de alguns registos. As análises de dados diária e mensal proporcionam a obtenção de índices sazonais de consumos de água para cada município, tal como esquematizado na Figura 4.1.



**Figura 4.1** Esquematização das etapas constituintes do tratamento de dados cronológicos

## 4.2 Séries Cronológicas De Dados Meteorológicos

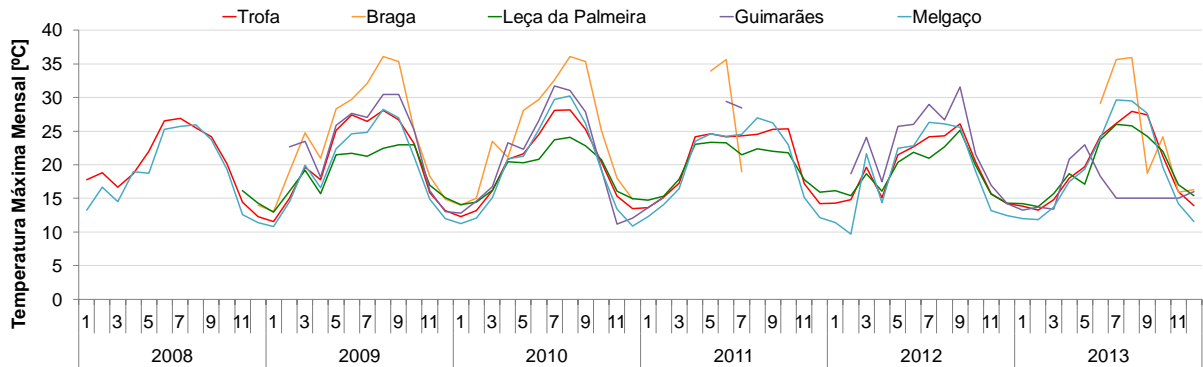
A caracterização das variáveis meteorológicas parte do conjunto de registos diários e mensais. Através de gráficos cronológicos é possível averiguar a evolução, no período de tempo definido, dos valores máximos e mínimos, a existência de sazonalidade ou de valores discrepantes e irregulares.

### 4.2.1 Análise comparativa das PWS selecionadas

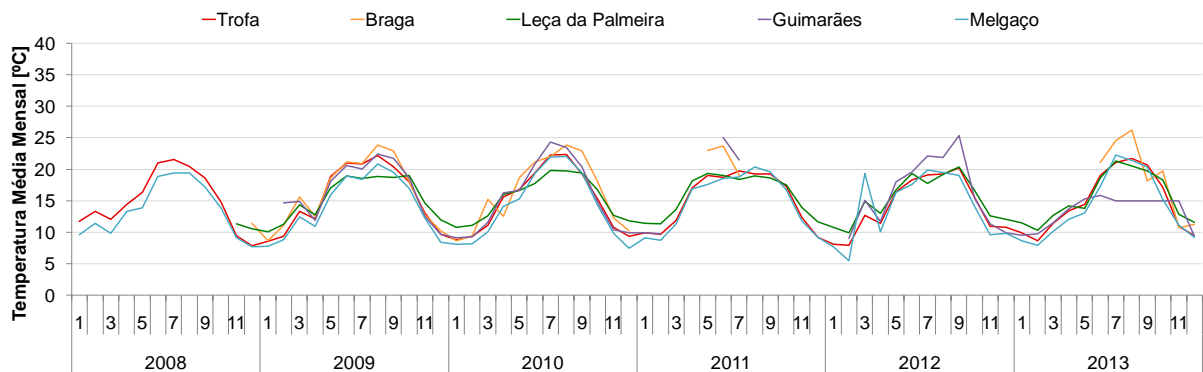
Como verificado no Capítulo 3, a PWS da Trofa apresenta o conjunto de registos meteorológicos mais completo entre as PWS selecionadas. Uma análise comparativa dos registos das mesmas remete para características semelhantes, justificando o mesmo sub-clima nos municípios do noroeste. Daí que, os dados meteorológicos da PWS da Trofa são representativos do noroeste e suficientes para a formulação dos MPCA.

As séries de registos meteorológicos mensais de cada PWS são seguidamente apresentadas em gráficos cronológicos. Como complemento, são apresentados também os diagramas de caixa respetivos a cada variável meteorológica.

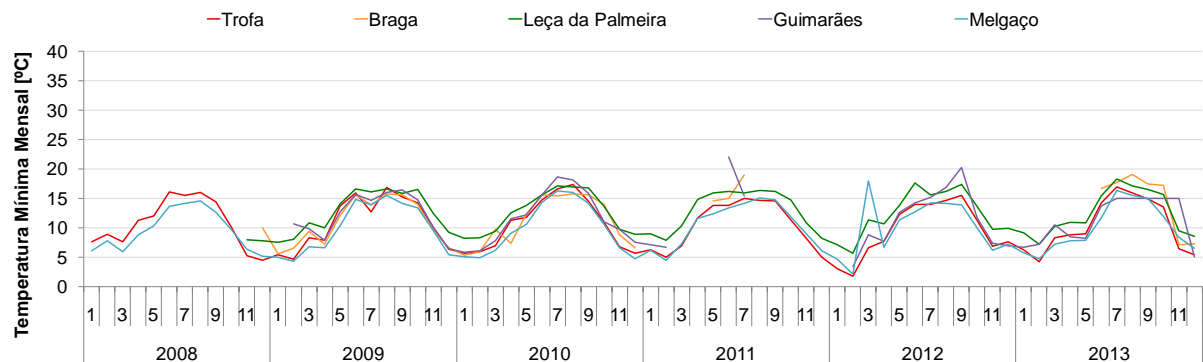
Como se pode verificar, os gráficos cronológicos das Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4 destacam a ausência de registos meteorológicos das PWS, à exceção da continuidade e regularidade presente nos dados da Trofa. Os gráficos dos parâmetros de temperatura das 5 PWS mostram-se sobrepostos e seguem o mesmo comportamento: idênticas amplitudes térmicas, oscilações derivadas das mudanças de estação e uma ligeira diminuição correspondente ao ano de 2011.



**Figura 4.2** Gráfico cronológico da temperatura máxima mensal nas PWS selecionadas

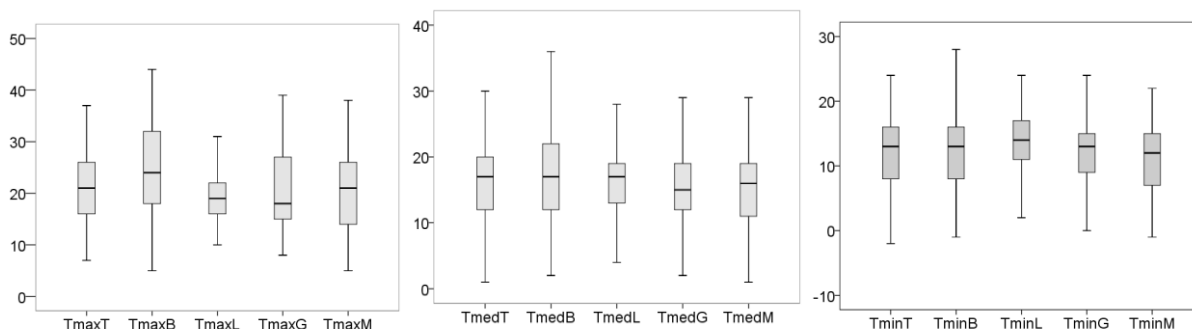


**Figura 4.3** Gráfico cronológico da temperatura média mensal nas PWS selecionadas



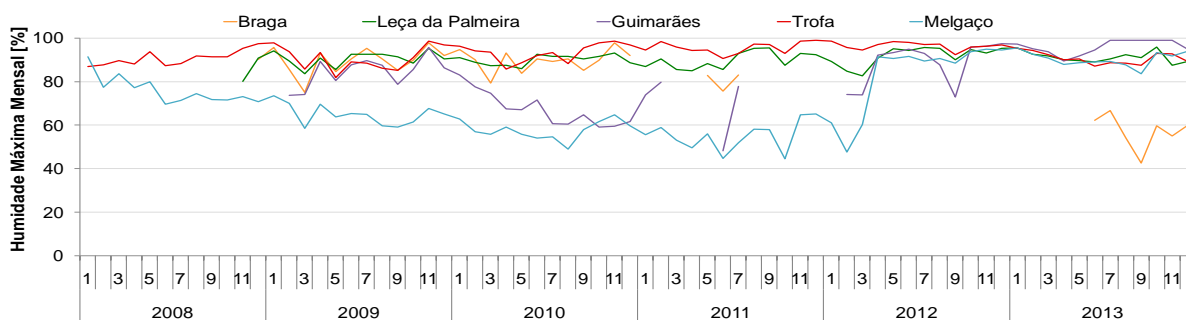
**Figura 4.4** Gráfico cronológico da temperatura mínima mensal nas PWS selecionadas

Por seu lado, os diagramas de caixa (Figura 4.5) comprovam a afinidade existente entre as temperaturas registadas nas diversas PWS, independentemente do número de registos e das falhas de dados. Como é possível observar, a amplitude térmica da cidade de Braga é ligeiramente superior às restantes mas a maioria dos dados concentra-se no mesmo intervalo de valores.



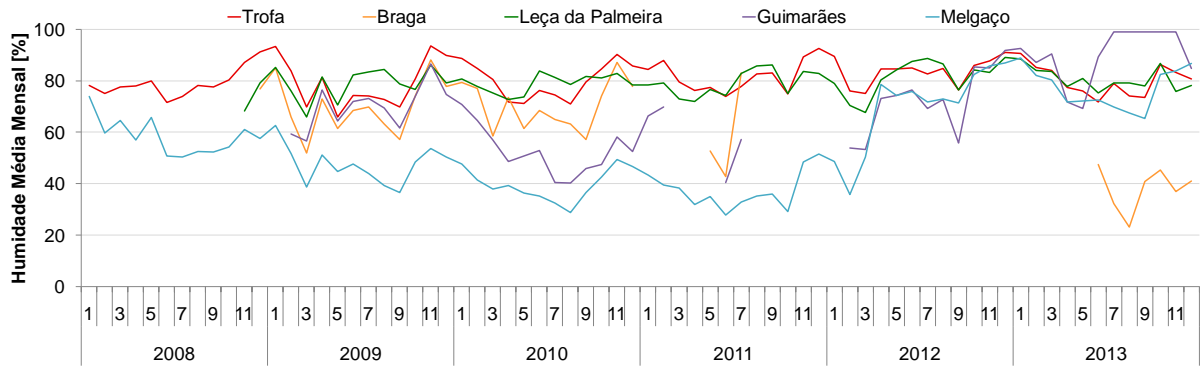
**Figura 4.5** Diagramas de caixa das temperaturas máxima, média e mínima nas PWS seleccionadas<sup>1</sup>

Relativamente aos registos de humidade das PWS, é notória uma maior discrepância, principalmente nos anos de 2009, 2010 e 2012. Destacam-se os registos mais baixos, relativos a Melgaço, uma vez que esta localidade não sofre a mesma influência oceânica do que as restantes e é afetada pelo micro clima continental vindo da Serra da Galiza (Melgaço, 2003). Contudo, os gráficos das Figura 4.6, Figura 4.7 e Figura 4.8 revelam semelhantes variações relativas às estações do ano e partilham de intervalos de humidade relativamente próximos.

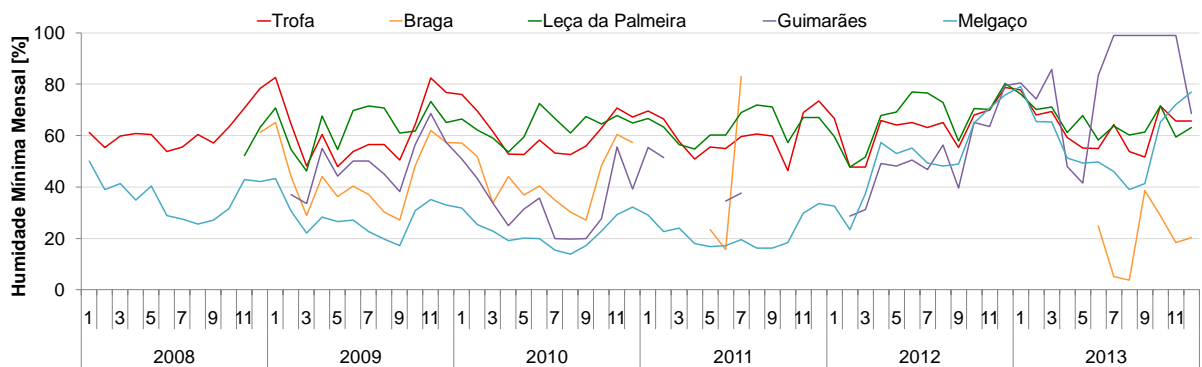


**Figura 4.6** Gráfico cronológico da humidade máxima mensal nas PWS seleccionadas

<sup>1</sup> Cada parâmetro meteorológico é seguido da inicial correspondente à localização da PWS: T – Trofa; B – Braga; L – Leça da Palmeira; G – Guimarães; M – Melgaço.



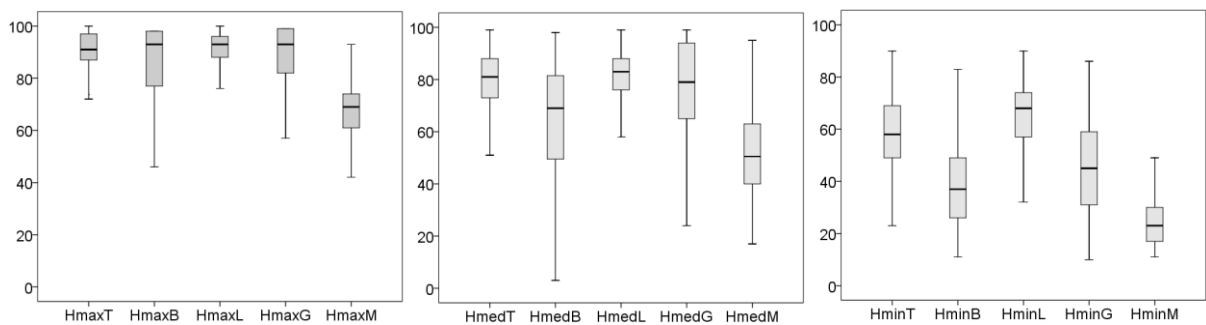
**Figura 4.7** Gráfico cronológico da humidade média mensal nas PWS seleccionadas



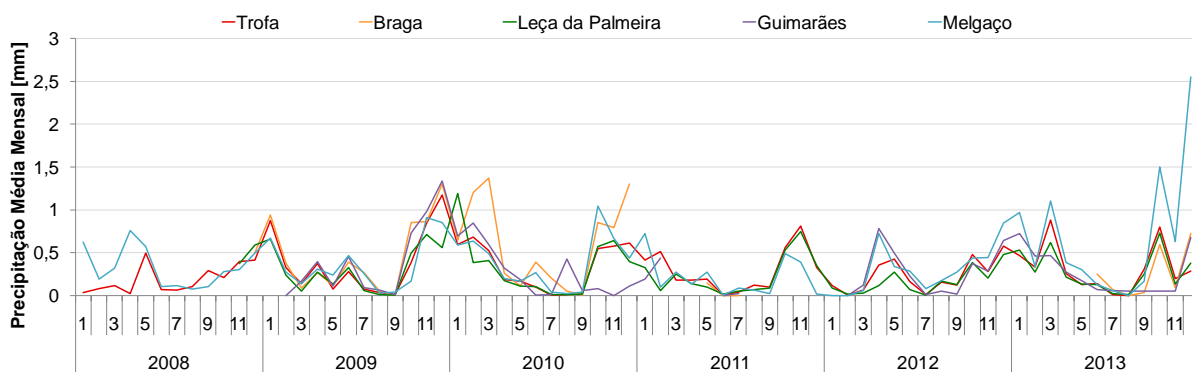
**Figura 4.8** Gráfico cronológico da humidade mínima mensal nas PWS seleccionadas

Os diagramas de caixa da Figura 4.9 destacam os registos baixos de Melgaço mas, no geral, a gama de distribuição de registos de humidade é semelhante entre as localidades.

Através gráfico da Figura 4.10 verifica-se que a precipitação é a variável meteorológica com maior irregularidade e discrepância entre os registos das várias PWS. A associação entre registos é menos evidente. Contudo, ocorrem simultaneamente reduções de precipitação nos meses de verão e aumentos acentuados no inverno, representativos de um sub-clima temperado, fresco e suave.

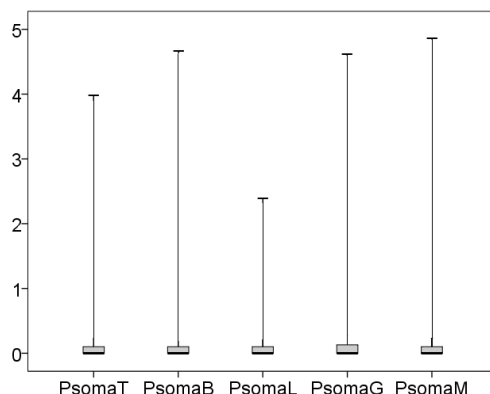


**Figura 4.9** Diagramas de caixa das humidades máxima, média e mínima nas PWS seleccionadas



**Figura 4.10** Gráfico cronológico da precipitação média mensal nas PWS selecionadas

Como é perceptível pelo diagrama em caixa da Figura 4.11, o intervalo de registos de intensidade de precipitação não difere significativamente entre os locais e a maior concentração situa-se abaixo de 0,20 mm, simultaneamente.



**Figura 4.11** Diagramas de caixa da precipitação média mensal nas PWS selecionadas

Para comprovar a semelhança entre registos meteorológicos por métodos numéricos, recorre-se a uma análise correlacional entre cada um dos parâmetros de cada PWS selecionada.

Como se constata pela Tabela 4.1, os valores de prova inferiores a 0,05 comprovam que as variáveis meteorológicas não seguem distribuições normais, pelo que, são somente aplicáveis os coeficientes de correlação de Spearman. Também os coeficientes de correlação relativos ao parâmetro de temperatura máxima estão dispostos na matriz da Tabela 4.2.

Os valores de prova, correspondentes a cada coeficiente de correlação, são inferiores a 0,05, indicando associações fortemente significativas entre os registos dos vários locais. As matrizes respetivas aos restantes parâmetros meteorológicos são apresentadas nas tabelas A3.1 a A3.6 no Anexo III.

**Tabela 4.1** Valores de prova do teste K-S às variáveis meteorológicas das PWS selecionadas

PWS Trofa	Valor de prova	PWS Braga	Valor de prova	PWS Leça da Palmeira	Valor de prova	PWS Guimarães	Valor de prova	PWS Melgaço	Valor de prova
Tmax	0,000	Tmax	0,000	Tmax	0,000	Tmax	0,000	Tmax	0,000
Tmed	0,000	Tmed	0,000	Tmed	0,000	Tmed	0,000	Tmed	0,000
Tmin	0,000	Tmin	0,000	Tmin	0,000	Tmin	0,000	Tmin	0,000
Hmax	0,000	Hmax	0,000	Hmax	0,000	Hmax	0,000	Hmax	0,000
Hmed	0,039	Hmed	0,000	Hmed	0,000	Hmed	0,000	Hmed	0,012
Hmin	0,096	Hmin	0,000	Hmin	0,000	Hmin	0,037	Hmin	0,000
Psoma	0,000	Psoma	0,000	Psoma	0,000	Psoma	0,000	Psoma	0,000

**Tabela 4.2.** Matriz de correlação entre os registos de temperatura máxima das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		TmaxT	TmaxB	TmaxL	TmaxG	TmaxM
TmaxT	$\rho$ Spearman	1,00	0,91	0,85	0,92	0,93
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
TmaxB	$\rho$ Spearman	0,91	1,00	0,77	0,92	0,93
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
TmaxL	$\rho$ Spearman	0,85	0,77	1,00	0,81	0,79
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
TmaxG	$\rho$ Spearman	0,92	0,92	0,81	1,00	0,96
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
TmaxM	$\rho$ Spearman	0,93	0,93	0,79	0,96	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Acordando com a terminologia de Weir (2011), as variáveis meteorológicas das diferentes PWS mostram-se fortemente relacionadas e extremamente semelhantes, traduzindo idênticas características climáticas. Os registos PWS da Trofa são os mais completos do conjunto das PWS selecionadas, pelo que, sendo representativos da região noroeste, foram adotados para a realização do estudo.

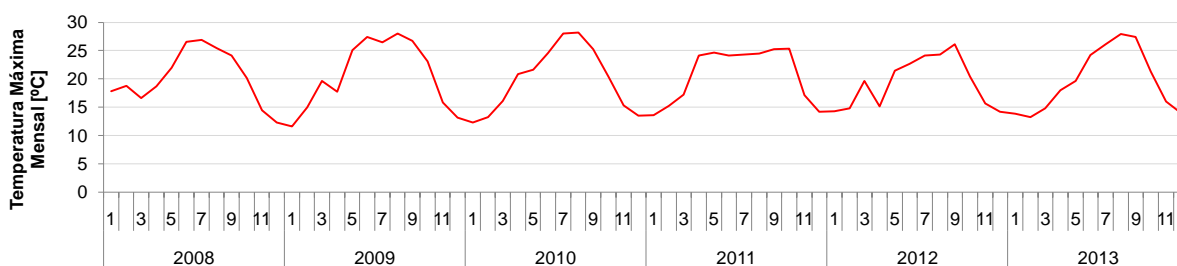
#### 4.2.2 Análise de dados meteorológicos da PWS da Trofa

No seguimento da análise das variáveis intervenientes no MPCA, são analisadas as evoluções das séries de registos meteorológicos mensais relativos à PWS da Trofa. Nesta fase de análise inicial, a perspetiva mensal é suficiente e permite tirar ilações pertinentes. As séries de registos diários serão incluídas em análises posteriores.

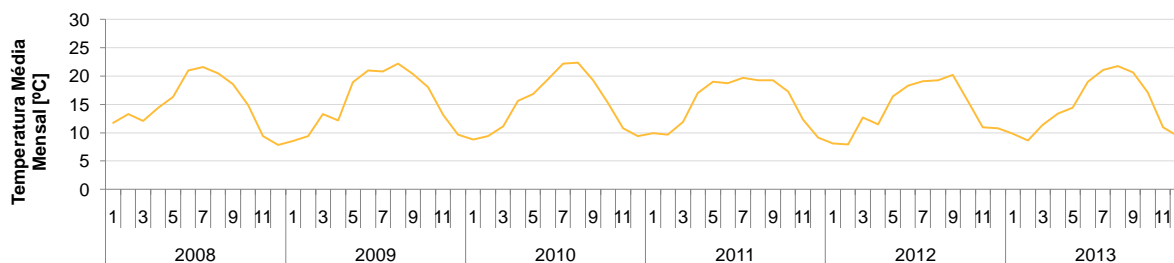
### 4.2.2.1 Temperatura

As evoluções das temperaturas máxima, média e mínima, representadas nas Figura 4.12, Figura 4.13 e Figura 4.14, respetivamente, destacam a uniformidade dos registos no período amostral e a forte componente sazonal, que distingue as estações do ano.

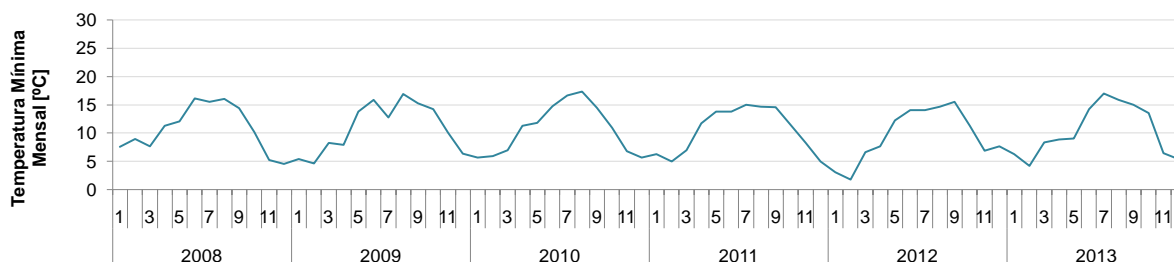
As temperaturas máximas variam entre 20 °C e 21 °C por ano, culminando nos meses de verão (junho, julho, agosto e setembro) com valores médios mensais de 28 °C. No intervalo definido, as temperaturas máximas sofrem um aumento de 2 °C, nos meses de inverno. Já as temperaturas mínimas alcançam os menores registos no inverno, sendo notório um decréscimo da temperatura mínima média anual de 11 °C para 10 °C, desde 2012.



**Figura 4.12** Gráfico de evolução cronológica da temperatura máxima mensal



**Figura 4.13** Gráfico de evolução cronológica da temperatura média mensal

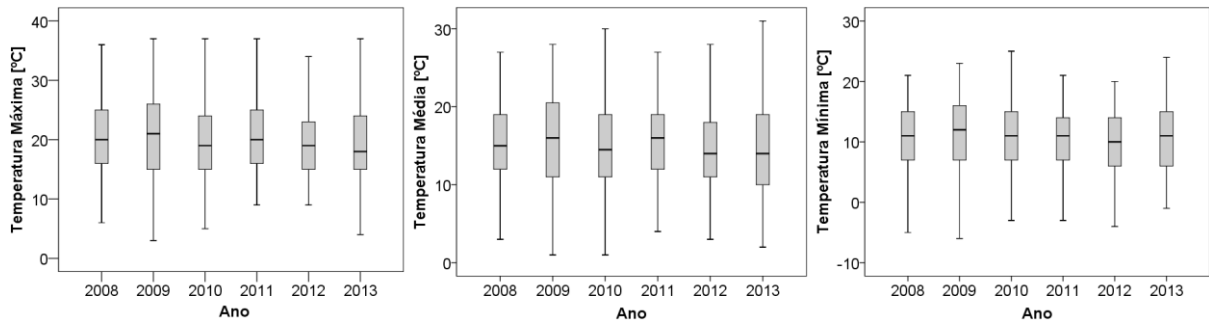


**Figura 4.14** Gráfico de evolução cronológica da temperatura mínima mensal

Também o tratamento estatístico e os diagramas de caixa da Figura 4.15 que se podem observar de seguida, indicam que os verões mais quentes ocorreram em 2009 e 2010, atingindo temperaturas máximas de 37° C. O inverno mais rigoroso sucedeu em 2012, com



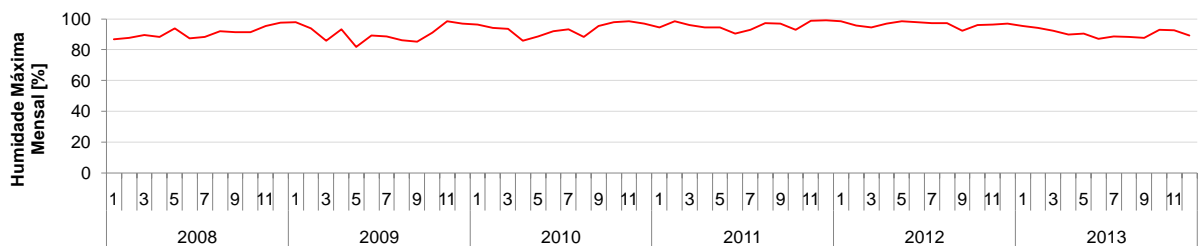
temperaturas mínimas entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $-4^{\circ}\text{C}$ . Portanto, as amplitudes térmicas anuais têm vindo a aumentar devido aos invernos mais álgidos e verões mais quentes. Ou seja, numa visão geral, os dados de temperatura remetem para verões quentes e invernos amenos, característicos do noroeste.



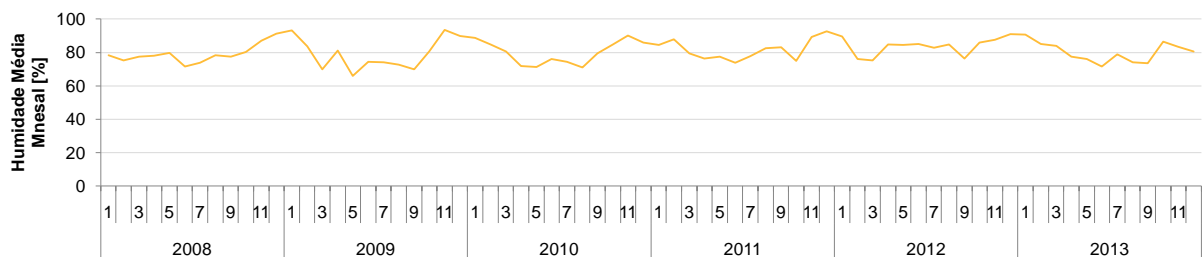
**Figura 4.15** Diagramas de caixa das temperaturas máxima, média e mínima mensais

#### 4.2.2.2 Humidade

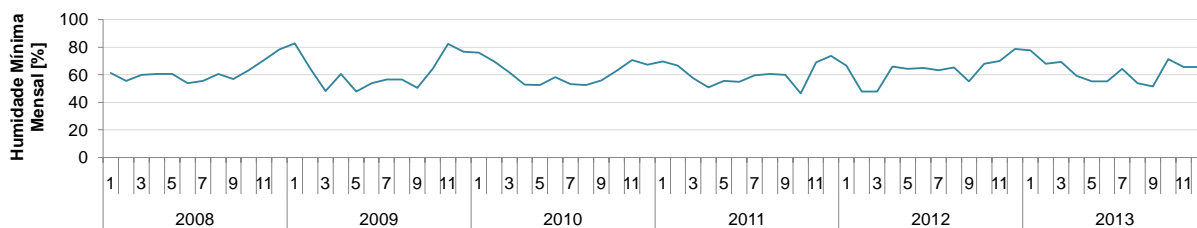
De acordo com os gráficos das Figura 4.16, Figura 4.17 e Figura 4.18, os dados dos teores de humidade apresentam um comportamento regular, num intervalo de valores reduzido. O parâmetro mínimo exhibe maior amplitude, entre 46 % e 83 %. Os valores de humidade máxima apenas oscilam entre 82 % e 99 %. Paralelamente à evolução das temperaturas, a humidade relativa expressa efeitos sazonais, traduz-se por valores baixos no verão (entre 46 % a 54 %) e elevados nos meses de inverno (87 % e 99 %).



**Figura 4.16** Gráfico de evolução cronológica da humidade máxima mensal

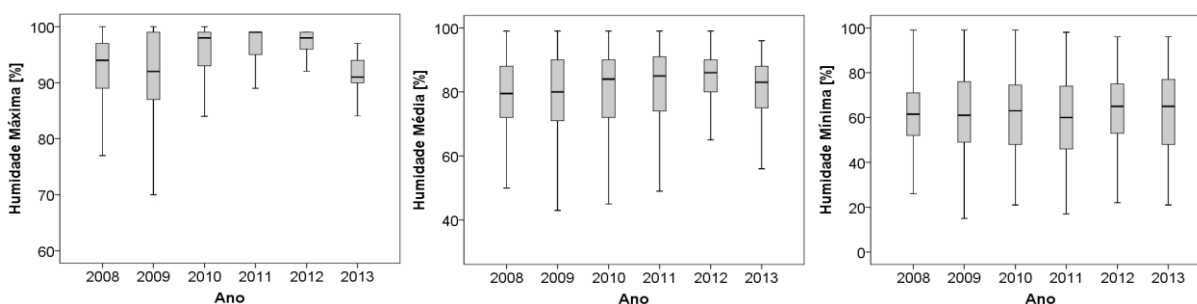


**Figura 4.17** Gráfico de evolução cronológica da humidade média mensal



**Figura 4.18** Gráfico de evolução cronológica da humidade mínima mensal

O tratamento estatístico e os diagramas de caixa da Figura 4.19 indicam que, entre os 3 parâmetros, a humidade máxima exhibe uma concentração desigual de registos nos anos referidos. Os parâmetros médios e mínimos mostram uma concentração mais regular.



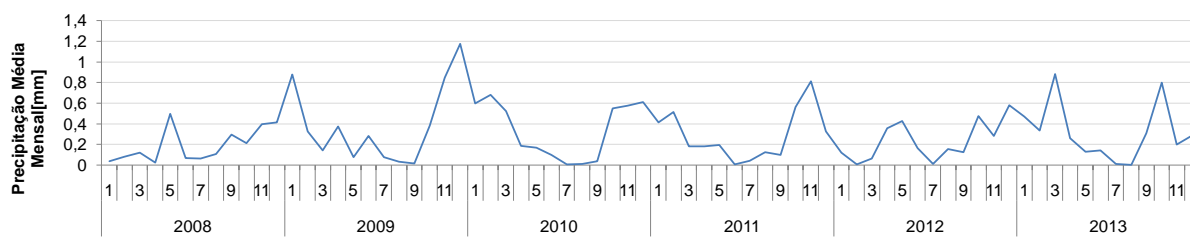
**Figura 4.19** Diagramas de caixa dos teores de humidade máximo, médio e mínimo mensais

Paralelamente às temperaturas mais altas, em 2009 e 2010 ocorrem os verões mais secos, com humidades mínimas médias de 54 % e 55 %, respetivamente. O ano de 2011 revelou-se o mais húmido do período amostral. Desta forma, os registos de humidade caracterizam verões secos e invernos húmidos, típicos do noroeste.

#### 4.2.2.3 Precipitação

A precipitação total diária exprime a altura de água da chuva presente no pluviómetro, após 24 horas desde a última medição. Desta observação conclui-se se ocorreu ou não precipitação, caso esse valor seja superior ou igual a zero, respetivamente. A evolução dos registos de intensidade de precipitação mensais é apresentada no gráfico da Figura 4.20, correspondendo à média mensal das precipitações diárias.

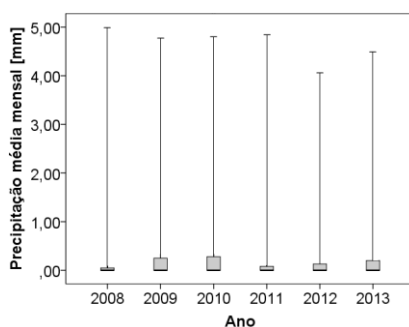
Como se pode observar, a precipitação média mensal atinge valores máximos acima de 0,85 mm, nos meses de inverno relativos ao ano de 2011, período que coincide com os valores de humidade mais acentuados do período amostral. O verão menos chuvoso ocorreu em 2010, em consonância com a temperatura mais elevada e teor de humidade mais baixo.



**Figura 4.20** Gráfico de evolução cronológica da precipitação média mensal

Independentemente da intensidade de precipitação, a taxa anual de ocorrências deste evento é de 30 % em 2008, aumentando para 41 %, em 2013.

Também o diagrama de caixa relativo à intensidade de precipitação média mensal (Figura 4.21) nos permite concluir que são bastante escassos os casos em que a intensidade de precipitação ultrapassa os 0,50 mm. Em 2009, 2010 e 2013 há maior variabilidade de registos, embora se conclua que os valores de precipitação média mensal superiores a 0,80 mm estão associados a ocorrências ocasionais e pouco prováveis.



**Figura 4.21** Diagramas de caixa da precipitação média mensal

### 4.3 Séries Cronológicas de Dados de Consumos de Água

O programa SCADA coleta o histórico de caudais instantâneos, medidos à saída de cada reservatório, em intervalos de 10 minutos (por vezes 15 ou 20 minutos). Com base neste conjunto de dados facultados pelo centro de controlo do SAV, a seguinte análise incide em séries cronológicas de volumes médios diários e mensais de água, fornecidos a cada município.

#### 4.3.1 Análise de dados de consumos médios diários de água

Os volumes médios diários de água são calculados segundo a média diária dos volumes de água instantâneos, correspondentes a cada reservatório.

Uma vez que os registos disponibilizados são isentos de qualquer tratamento, procede-se à identificação e correção das ausências de dados. Segundo o centro de controlo do SAV, estas interrupções nos registos devem-se a falhas de energia no sistema, avarias e reduções dos instrumentos de medição de caudal. Esta retificação avalia as tendências de registos anteriores e colmata a falha de dados de forma representativa.

Da seleção de reservatórios, de acordo com o período amostral, as séries de registos de Balazar e Modivas iniciam a 24 de novembro de 2008 e de Lemenhe, a 29 de fevereiro de 2008. Como a ausência de dados se deve à inexistência de infraestruturas de comunicação, não se aplica nenhuma medida de colmatação e recorre-se às séries cronológicas de dados de volumes de água nos intervalos apresentados na Tabela 4.3.

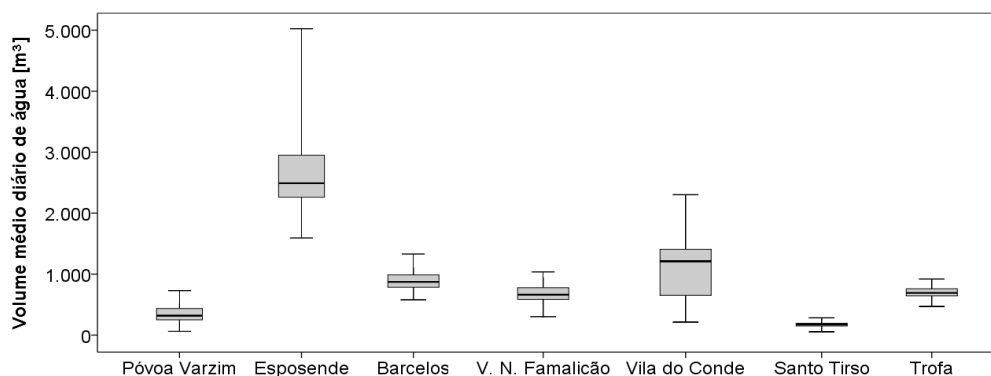
**Tabela 4.3** Período de dados de consumos de água a considerar no estudo

Município	Reservatório	Intervalo de dados disponíveis
Póvoa de Varzim	Balazar (RBZ)	24/11/2008 - 31/12/2013
Esposende	Bouro (RBO)	01/01/2008 - 31/12/2013
Barcelos	Gamil (RGM)	01/01/2008 - 31/12/2013
V.N. Famalicão	Lemenhe (RLM)	29/02/2008 - 31/12/2013
Vila do Conde	Modivas (RMO)	24/11/2008 - 31/12/2013
Santo Tirso	S. Martinho Campo (RSMCa)	01/01/2008 - 31/12/2013
Trofa	S. Mamede Coronado (RSMCo)	01/01/2008 - 31/12/2013

O tratamento dos dados envolve a supressão de registos atípicos (*outliers*) que interferem na série cronológica, dificultam a sua análise e desvalorizam os resultados dos testes estatísticos aplicados à mesma.

Convertendo os caudais médios diários em volumes médios diários de água, obtêm-se as séries cronológicas de consumos diários para cada município, representadas graficamente nas Figuras A4.1 a), b), c), d), e), f), do Anexo IV.

Tendo em conta a figura A4.1 e o diagrama em caixa da Figura 4.22, os consumos médios diários de água mais elevados ocorrem no município de Esposende. Sendo uma região costeira, os volumes de água requeridos apresentam um forte efeito sazonal. No verão variam entre 4000 e 5000 m<sup>3</sup>, descendo para 2000 a 3000 m<sup>3</sup>, nos restantes meses.



**Figura 4.22** Diagramas de caixa dos consumos médios diários de água dos municípios em estudo

Contrariamente, Santo Tirso expressa os consumos de água mais baixos entre os municípios, variando entre 100 e 300 m<sup>3</sup>. A Figura 4.22 demonstra uma amplitude de registos reduzida, traduzindo uma forte homogeneidade e indiferença aos efeitos sazonais dos consumos de água.

Os consumos dos restantes municípios expressam valores próximos, entre 300 e 1300 m<sup>3</sup>, exceto Vila do Conde cujos volumes de água aumentam para 1800 m<sup>3</sup> no período de verão, e 1300 m<sup>3</sup> nos restantes meses, a partir de 2009.

Recorrendo a uma análise estatística, constata-se que todas as localidades apresentam um incremento dos consumos de água na época de verão. As taxas de aumento destes consumos estão expostas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** Taxas de aumento dos consumos médios diários no verão

Município	Póvoa de Varzim	Esposende	Barcelos	V. N. Famalicão	Vila do Conde	Santo Tirso	Trofa
Aumento sazonal dos consumos de água [%]	12	30	11	15	17	10	9

Como se pode concluir, Esposende e Vila do Conde surgem como os municípios com maior suscetibilidade aos efeitos sazonais. Estas localidades são mais influenciadas pelas atividades comerciais, turísticas e pelo aumento da população flutuante, marcantes do período de verão, em regiões do litoral. Estes fatores intensificam os consumos de água de forma mais acentuada do que nos municípios mais interiores.

Menos influenciados pela sazonalidade são os consumos de água das localidades de Barcelos, Santo Tirso e Trofa. Globalmente, a diferença entre os consumos de água de verão e os de

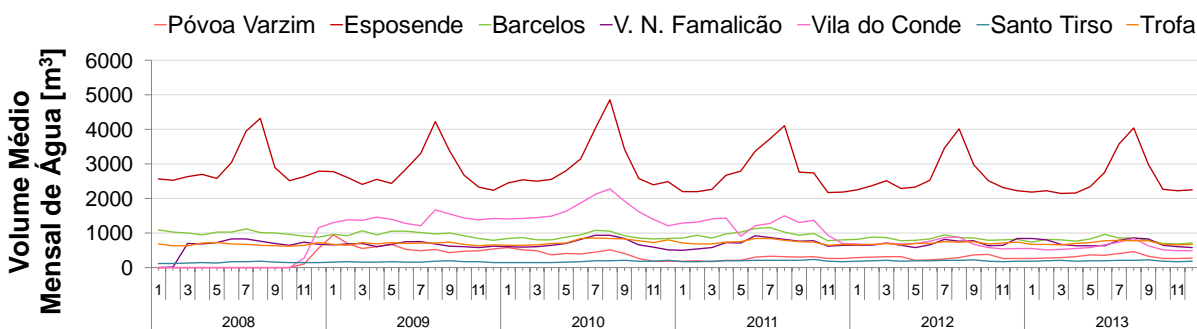
inverno foi marcante em 2010. Este facto está provavelmente relacionado com as temperaturas mais elevadas, humidades mais baixas e menos precipitações, como já constatado.

Já na Póvoa de Varzim, os consumos de água são relativamente baixos comparativamente com as outras localidades costeiras (Esposende e Vila do Conde). Segundo o departamento de ambiente e urbanismo da Câmara Municipal da Póvoa de Varzim, o reservatório de Balazar abastece maioritariamente áreas agrícolas, escassas habitações e população tendencialmente idosa. Portanto, o reservatório de Balazar pode não ter sido a amostra mais representativa dos consumos de água da Póvoa de Varzim.

Uma análise comparativa entre os dias de semana revela também um aumento entre 8 % a 19 % dos consumos de água requeridos aos sábados relativamente aos volumes de água consumidos em dias de semana, na generalidade dos municípios. O sábado precedente ao dia de Páscoa é um dos dias de maior consumo de água, relacionado com as atividades desempenhadas que exigem maiores quantidades de água (limpezas domésticas, lavagem de carros e passeios, regas de jardins). Aos domingos, os consumos em Esposende, Trofa e Póvoa de Varzim diminuem ligeiramente, numa taxa entre 1 a 3 %. Em Barcelos e Santo Tirso a mesma taxa de diminuição é de 12 %.

#### 4.3.2 *Análise de dados de consumos médios mensais de água*

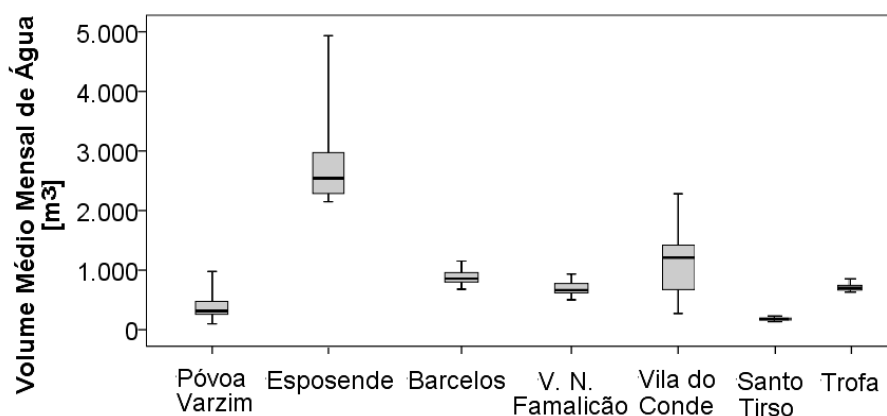
Numa abordagem menos minuciosa mas mais acessível, as séries cronológicas de consumos médios mensais de água permitem avaliar os efeitos sazonais e os padrões mensais e anuais dos consumos de água. Estas evoluções estão representadas, no gráfico da Figura 4.23 e nos diagramas em caixa da Figura 4.24.



**Figura 4.23** Séries cronológicas de consumos médios mensais de água nos municípios em estudo

Comprovando os dados da análise diária, Esposende e Santo Tirso são os municípios consumidores dos maiores e menores volumes de água, respetivamente. Os consumos de água na Póvoa de Varzim, Barcelos, Vila Nova de Famalicão e Trofa apresentam valores semelhantes, embora bastante inferiores aos de Esposende.

Todos os municípios revelam efeitos sazonais, principalmente nos meses de verão. Contudo, Esposende e Vila do Conde expressam oscilações mais acentuadas e maior amplitude de registos mensais, como entendido pelos diagramas de caixa da Figura 4.24.



**Figura 4.24** Diagramas de caixa dos consumos médios mensais de água dos municípios em estudo

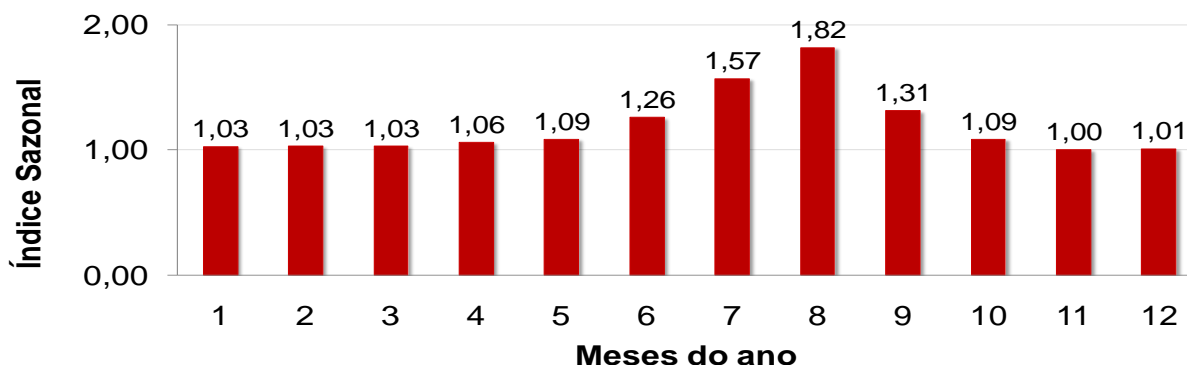
Em geral, verifica-se um decréscimo dos consumos médios anuais de água, a partir de 2011. Destacam-se a Póvoa de Varzim e Vila do Conde com as maiores reduções, de 40 % e 46 %, respetivamente. O centro operacional do SAV afirma que esta diminuição está associada a medidas de contenção postas em prática pelos municípios, a perdas, a desvios de volumes de água, entre reservatórios, não incluídos na amostra e ao encerramento de estabelecimentos de consumo intensivo de água, como as indústrias.

### 4.3.3 Índices sazonais dos consumos médios mensais de água

Relativamente às séries de dados mensais, estas são de importância pois permitem definir indicadores sazonais que exprimem, sumariamente, a evolução mensal dos consumos de água comparativamente com o mês de menor consumo, na globalidade do período amostral.

No gráfico da Figura 4.25 são apresentados os índices sazonais correspondentes aos consumos médios mensais de água, no município de Esposende. Ao mês de menor consumo (novembro) é atribuído o índice de referência unitário. Os restantes índices, sempre superiores

a este limite, permitem entender a variação mensal e o efeito da sazonalidade sobre os consumos de água.



**Figura 4.25** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água do município de Esposende

Em Esposende, os consumos médios mensais de água variam entre um mínimo de 2148 m<sup>3</sup>, relativo à média dos meses de novembro, e máximo de 4857 m<sup>3</sup>, correspondentes aos consumos médios nos meses de agosto. A sazonalidade é evidenciada pelos índices mais elevados, entre junho e setembro. Em agosto, os volumes médios de água consumidos são 82 % superiores aos solicitados em novembro, o que vai de encontro ao até aqui já constatado.

Complementarmente, os gráficos das figuras A5.1, A5.2, A5.3, A5.4, A5.5 e A5.6, presentes no Anexo V, representam os índices sazonais relativos aos municípios de Póvoa de Varzim, Barcelos, V. N. de Famalicão, Vila do Conde, Santo Tirso e Trofa, respetivamente. Na Tabela 4.5 são sintetizadas as conclusões retiradas a respeito dos mesmos.

**Tabela 4.5** Variação sazonal dos consumos de água

Município	Variação Consumos Médios Mensais [m <sup>3</sup> ]		Mês de menor consumo de água	Mês de maior consumo de água	Taxa de aumento sazonal dos consumos de água
	Mínimo	Máximo			
Póvoa Varzim	173	941	novembro	agosto	46 %
Barcelos	700	1153	novembro	julho	28 %
V. N. Famalicão	500	933	novembro	julho	33 %
Vila do Conde	476	2280	novembro	agosto	72 %
Santo Tirso	118	231	janeiro	setembro	27 %
Trofa	616	854	fevereiro	julho	17 %

Após cuidada análise, conclui-se que, de forma semelhante, os índices manifestam o forte impacto sazonal sobre os consumos de água, em Vila do Conde. Nos meses mais quentes, os consumos são entre 40 e 70 % superiores à referência. Nas estações intercalares, os índices



variam entre 25 e 35 %. No entanto, na Póvoa de Varzim, excetuando os meses de maior e menor consumos, os índices sazonais variam entre 21 e 38 %, mostrando maior uniformidade na evolução dos consumos de água e um efeito sazonal mais ténue sobre os mesmos.

O efeito sazonal está presente em menor escala, nos consumos de água de Barcelos V. N. de Famalicão, Santo Tirso e Trofa. Nestas localidades, os consumos de água apenas variam entre 3 a 10 %, nas estações da primavera e outono. Em Barcelos esta variação está ligeiramente acima (10 a 16 %). Inclusivamente, no período de verão, os índices sazonais manifestam uma variação entre 20 a 30 % comparativamente ao consumo de água no mês de referência.

Constituindo uma exceção, em V. N. de Famalicão o mês de agosto exprime o menor índice entre os meses de verão, acusando um consumo de água inferior e possível deslocação da população para efeitos de férias. Nos municípios interiores, a evolução das solicitações de água é mais regular ao longo dos meses do ano, sendo menor o impacto sazonal e o efeito das estações do ano.



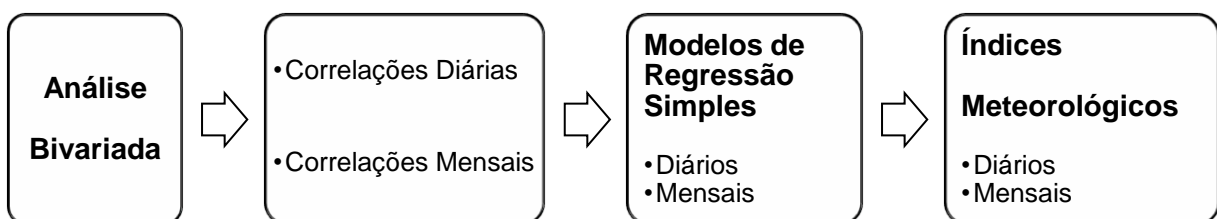
## 5 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA

A análise estatística bivariada incide nas relações entre as variáveis intervenientes nos MPCA. O método da correlação é indicado para avaliar, de forma numérica, a relação entre cada um dos parâmetros meteorológicos e os consumos de água nos vários municípios. Esta técnica é válida, na medida em que os registos de ambas as variáveis correspondem ao mesmo período amostral, resultando numa correspondência perfeita, tanto diária como mensal.

Os diagramas de dispersão facilitam a visualização da afinidade entre cada par de parâmetros e servem de base à aplicação dos posteriores métodos de regressão. As correlações são precedidas do teste à normalidade da distribuição de cada variável (teste K-S) e seleção do coeficiente de correlação a analisar.

Somente a variável relativa à ocorrência de precipitação ( $P_{\text{ocor}}$ ) é abordada em análises diárias, como foi justificado nos pressupostos do Capítulo 4. Sendo a única variável qualitativa ( $P_{\text{ocor}}=1$  se chover ou  $P_{\text{ocor}}=0$ , caso contrário), é aplicado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*. Com os resultados do teste, são averiguadas as diferenças significativas nos consumos médios diários de água, no caso de ocorrer ou não precipitação.

A aplicação do método de regressão linear simples é crucial na avaliação da contribuição de cada parâmetro e no cálculo dos índices meteorológicos (Figura 5.1).



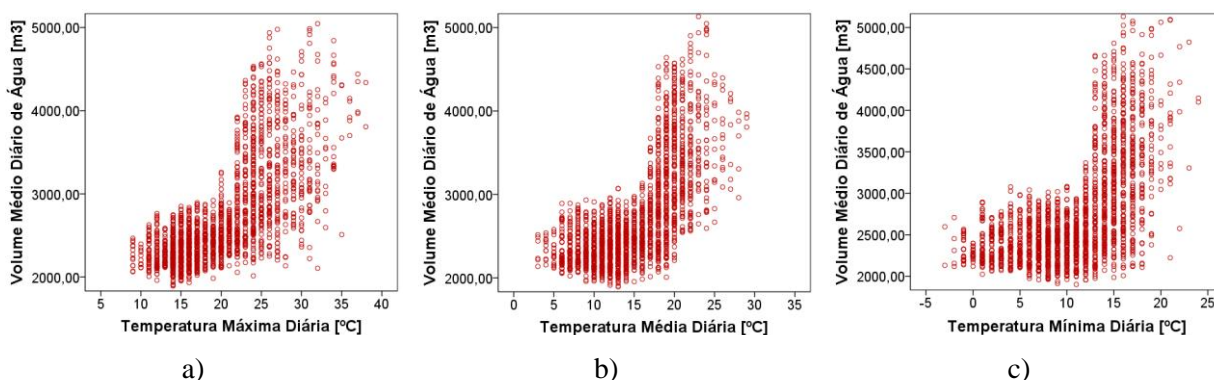
**Figura 5.1** Esquematização das etapas desenvolvidas no presente capítulo

### 5.1 Correlações entre Variáveis Meteorológicas e Consumos médios diários de Água

Na presente dissertação, é detalhadamente apresentada a análise bivariada relativa ao município de Esposende e uma síntese dos principais resultados obtidos para os restantes municípios. As tabelas e diagramas de dispersão são expostos no Anexo VI.

### 5.1.1 Correlação entre parâmetros de temperatura e consumos médios diários de água

De acordo com os diagramas de dispersão da Figura 5.2, verifica-se uma evolução positiva entre o crescimento dos consumos médios diários de água e o aumento dos parâmetros de temperatura. O diagrama de temperatura máxima demonstra duas tendências de crescimento distintas: dispersão mais suave e concentrada até 9 °C e mais acentuada e dispersa a partir de 20 °C. Os parâmetros médio e mínimo seguem tendências curvilíneas, mais fortes a partir dos 18 °C e 13 °C, respetivamente.



**Figura 5.2** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Esposende

Os consumos máximos ocorrem para temperaturas máximas entre 27 °C e 34 °C, temperaturas médias entre 22 °C e 24 °C e temperaturas mínimas superiores a 16 °C.

A Tabela 5.1 apresenta os valores de prova do teste K-S, traduzindo distribuições não normalizadas. Os coeficientes de correlação demonstram um nível de relacionamento moderado a forte, entre os parâmetros de temperatura e os consumos de água. O parâmetro de temperatura mínima revela menor grau de relacionamento.

**Tabela 5.1** Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas, médias, mínimas diárias e consumos médios diários, no município de Esposende

		Tmax	Tmed	Tmin
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,73	0,69	0,60
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00

Tal como se sucede em Esposende, em todos os municípios, os consumos médios diários de água crescem positivamente com o aumento dos valores dos três parâmetros de temperatura.

Na generalidade dos municípios, os diagramas de dispersão relativos à temperatura máxima (figuras A6.1, A6.4, A6.7, A6.10, A6.13 e A6.16) demonstram uma relação linear para com os consumos médios diários de água. À exceção de Santo Tirso e da Trofa, cujos diagramas de dispersão de temperatura máxima se dividem em duas tendências distintas. A partir dos 20 °C de temperatura máxima, os consumos de água crescem mais rapidamente com o aumento deste parâmetro meteorológico. Os diagramas de dispersão relativos a temperaturas médias e mínimas seguem tendências mais curvilíneas e uniformes.

Em geral, a partir dos limites de temperatura apresentados na Tabela 5.2, os consumos de água tendem a manter-se. Excepcionalmente, na Póvoa de Varzim e em Santo Tirso, ocorrem consumos de água relativamente mais baixos, para temperaturas superiores às referidas na Tabela 5.2. Este facto pode estar relacionado com uma menor exigência de água, devido às deslocações da população residente, em dias mais quentes.

**Tabela 5.2** Valores de temperatura máxima, média e mínima que alteram a evolução dos consumos médios diários de água

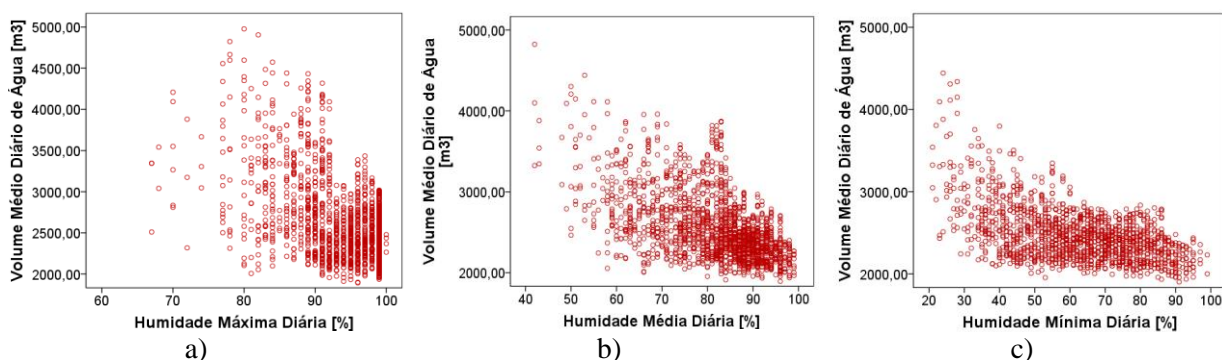
Município	Tmax [°C]	Tmed [°C]	Tmin [°C]
Póvoa de Varzim	26	20	15
Barcelos	24	24	18
V. N. Famalicão	37	27	19
Vila do Conde	28	24	17
Santo Tirso	33	21	17
Trofa	35	30	22

Os gráficos de dispersão de Vila do Conde demonstram um desfasamento influenciado pelo reduzido conjunto de dados de consumo de água próximos de 1000 m<sup>3</sup>. Já os diagramas de Santo Tirso e da Trofa são bastante dispersos, sendo apenas perceptível linearidade nos parâmetros de temperatura máxima e média.

Os resultados do teste K-S indicam distribuições não normalizadas e os coeficientes de correlação revelam, na generalidade dos municípios, um grau de relacionamento moderado entre os consumos médios diários de água e os parâmetros de temperatura. As associações mais e menos forte são verificadas com os parâmetros de temperatura máxima e mínima, respetivamente.

### 5.1.2 Correlação entre parâmetros de humidade relativa e consumos médios diários de água

Como será possível observar pelos diagramas de dispersão da Figura 5.3, os consumos de água tendem a diminuir com o aumento dos teores de humidade. O diagrama de humidade máxima apresenta maior dispersão para valores inferiores a 80 %, e para valores máximos de humidade os consumos atingem 3000 m<sup>3</sup>. Os diagramas relativos às humidades média e mínima apresentam uma dispersão mais uniforme e retilínea, evoluindo os consumos de água mais rapidamente para valores inferiores a 60 % e 40 %.



**Figura 5.3** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Esposende

A Tabela 5.3 apresenta os valores de prova do teste K-S, traduzindo distribuições são não normalizadas. Os coeficientes de correlação relativos aos parâmetros de humidade são indicadores da evolução inversa e moderada entre os mesmos e os consumos diários de água. Os parâmetros de humidade máxima e média expressam menor e maior associação, respetivamente.

**Tabela 5.3** Coeficientes de correlação entre teores de humidade máximos, médios, mínimos diários e consumos médios diários, no município de Esposende

		Hmax	Hmed	Hmin
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	-0,41	-0,53	-0,46
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00

Tal como o caso de Esposende, os consumos médios diários de água tendem a diminuir com o aumento dos teores de humidade relativa, na globalidade dos municípios em estudo. Os diagramas de dispersão de consumos médios diários e humidade diária estão representados nas figuras A6.2, A6.5, A6.8, A6.11, A6.14 e A6.17, do Anexo VI.

Os diagramas de teores de humidade máximos e médios apresentam tendências de evolução curvilíneas e uniformes. Contrariamente, os consumos de água sofrem uma evolução bastante ténue e dispersa quando confrontadas com teores mínimos de humidade.

É comum em todos os parâmetros de humidade existir uma maior concentração de pontos para valores percentuais mais elevados. A Tabela 5.4 apresenta os valores de humidades máxima e média a partir dos quais os diagramas de dispersão apresentam maior concentração, assim como os consumos médios diários de água aproximados, correspondentes aos valores máximos de humidade máxima.

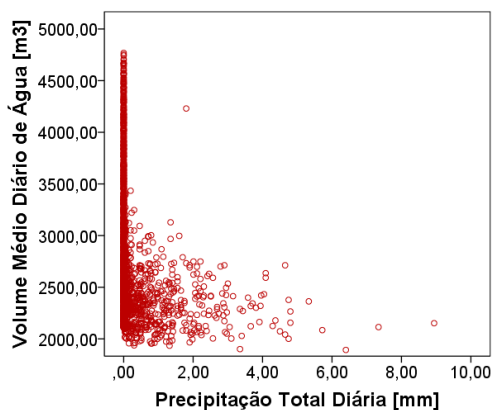
**Tabela 5.4** Limite de concentração de pontos e de consumos de água para humidades máximas

Município	H <sub>max</sub> limite concentração [%]	H <sub>med</sub> limite concentração [%]	Consumo médio diário de água para H <sub>max</sub> máximo [m <sup>3</sup> ]
Póvoa de Varzim	90	80	180
Barcelos	82	80	1100
V. N. Famalicão	88	73	900
Vila do Conde	90	80	400
Santo Tirso	86	74	250
Trofa	82	80	900

Os resultados do teste K-S indicam distribuições não normalizadas e os coeficientes de correlação revelam uma evolução inversa entre ambas as variáveis. Os consumos de água da Póvoa de Varzim revelam uma correlação fraca para teores de humidade mínimos, enquanto os consumos de água de Barcelos, Santo Tirso e Trofa, são fracamente associados com teores de humidade máximos. Concluindo, os coeficientes de correlação traduzem uma relação moderada dos consumos de água com o teor de humidade médio.

### ***5.1.3 Correlação entre parâmetros de precipitação e consumos médios diários de água***

O diagrama da Figura 5.4 mostra que os consumos de água tendem a diminuir à medida que aumenta a intensidade de precipitação diária. Há uma maior associação para intensidades de precipitação próximas de 0 mm e maior dispersão acima de 3,0 mm. Quando não ocorre precipitação, os consumos superam os 5000 m<sup>3</sup>, decrescendo até 2800 m<sup>3</sup> para precipitações totais superiores a 2,0 mm e voltando a diminuir a partir de 4,0 mm.



**Figura 5.4** Diagramas de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Esposende

Por seu lado, a Tabela 5.5 apresenta os valores de prova do teste K-S, traduzindo distribuições não normalizadas. O coeficiente de correlação relativo à intensidade de precipitação indica uma evolução inversa e moderada para com os consumos diários de água.

**Tabela 5.5** Coeficientes de correlação entre precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Esposende

		Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	-0,49
	Valor de Prova (p)	0,00

O teste de *Kruskal-Wallis* indica uma diferença significativa nos consumos de água no caso de ocorrer ou não precipitação. Em média, quando chove, os consumos de água são de 2950 m<sup>3</sup>. Caso não ocorra precipitação, os consumos de água decrescem para 2370 m<sup>3</sup>.

Em todos os municípios verifica-se uma diminuição dos consumos médios diários de água à medida que aumenta a intensidade de precipitação diária. Os diagramas de dispersão de consumos médios diários e precipitação total diária estão representados nas figuras A6.3, A6.6, A6.9, A6.12, A6.15 e A6.18, no Anexo VI.

A associação entre as variáveis é bastante forte para valores de precipitação total diária próximos de 0 mm. Após atingirem valores máximos para precipitações diárias nulas, os consumos de água decrescem acentuadamente e atingem um patamar de precipitação, a partir do qual a dispersão de dados é maior.

Na Póvoa de Varzim e em V. N. de Famalicão, os consumos diminuem cerca de 300 a 400 m<sup>3</sup> caso a precipitação total diária seja superior a 4,0 mm. Em Barcelos, basta a precipitação total diária exceder os 1,0 mm para os consumos de água reduzirem 350 m<sup>3</sup>. Finalmente, em Vila



do Conde, Santo Tirso e Trofa a redução do consumo médio diário de água é de 900, 50 e 170 m<sup>3</sup> para uma precipitação diária superior a 3,0 mm.

Em todos os municípios, os valores de prova do teste K-S expressam a não normalidade das distribuições e o coeficiente de correlação indica uma evolução inversa entre a precipitação diária e os consumos diários de água. O grau de relacionamento das variáveis, relativas a Póvoa de Varzim e Vila do Conde, é relativamente fraco. Nos restantes municípios o grau é moderado, sendo contudo bastante inferior comparativamente a outros parâmetros meteorológicos.

Os mesmos testes de *Kruskal-Wallis* aplicados às restantes localidades indicam a uma diferença significativa nos consumos médios diários de água, no caso de ocorrer ou não precipitação. Para sintetizar, a Tabela 5.6 apresenta as médias dos volumes médios diários de água consumidos caso ocorra ou não precipitação, com base na totalidade do período amostral.

**Tabela 5.6** Média dos consumos médios diários de água para a ocorrência e não ocorrência de precipitação diária

Município	Média dos consumos médios diários para a ocorrência de precipitação [m <sup>3</sup> ]	Média dos consumos médios diários para a não ocorrência de precipitação [m <sup>3</sup> ]
Póvoa de Varzim	328	368
Barcelos	836	936
V. N. Famalicão	1023	1153
Vila do Conde	1023	1153
Santo Tirso	165	180
Trofa	673	727

Analisando os dados do conjunto dos municípios em estudo, em Esposende, o impacto da ocorrência de precipitação causa uma redução de, aproximadamente, 20 % nos consumos médios diários de água. Em Santo Tirso e na Trofa, essa diferença é reduzida: entre 7 % e 8 %, respetivamente. Nas restantes localidades, o efeito da precipitação diária causa um decréscimo de 11 % nos volumes de água consumidos.

## 5.2 Correlações entre Variáveis Meteorológicas e Consumos Médios Mensais de Água

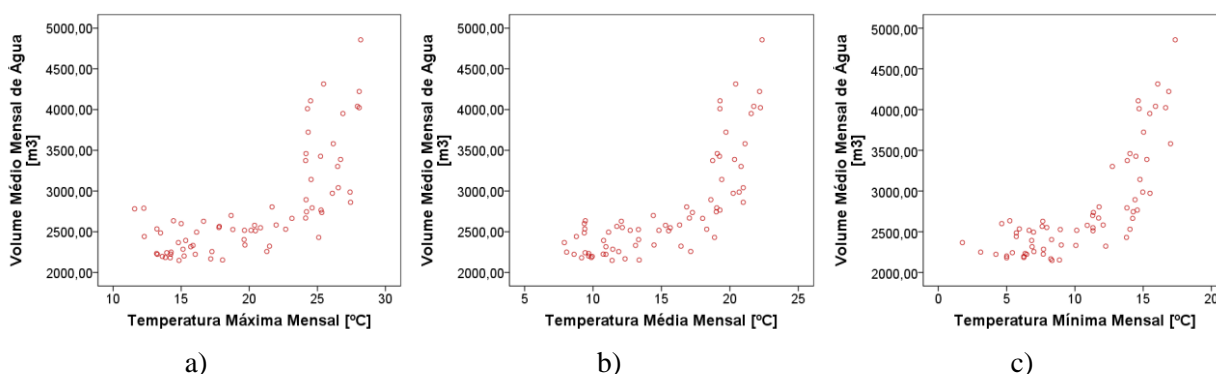
As correlações mensais, uma vez que simplificam a compreensão de evoluções e comparação das influências dos parâmetros meteorológicos nos consumos de água, serão agora alvo de análise. Para o efeito, apresenta-se de seguida a análise bivariada mensal relativa ao município

de Esposende e uma síntese dos principais resultados obtidos para os restantes municípios. As tabelas e diagramas de dispersão são expostos no Anexo VII.

Nesta perspetiva, o parâmetro de precipitação é estudado quanto à sua intensidade média mensal e número de dias por mês em que sucederam precipitações.

### 5.2.1 *Correlação entre parâmetros de temperatura e consumos médios mensais de água*

Os diagramas da Figura 5.5 manifestam o aumento simultâneo dos consumos médios mensais de água e dos parâmetros de temperatura máxima, média e mínima mensais. Apesar da quantidade de registos e de pontos ser bastante reduzido (comparativamente à análise diária), é notória uma tendência curvilínea na associação entre as variáveis. A dispersão dos pontos, relativos aos três diagramas, é crescente no sentido de desenvolvimento positivo das variáveis.



**Figura 5.5** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Esposende

Novamente, após aplicação do teste K-S, os seus valores, indicadores de distribuições não normalizadas, encontram-se registados na Tabela 5.7. Os coeficientes de correlação (Tabela 5.7) revelam um grau de relacionamento moderado, tendencialmente forte, entre os três parâmetros de temperatura e os consumos de água. Os parâmetros de temperatura mínimo e médio revelam, respetivamente, menor e maior associação com os consumos médios mensais de água.

Tal como se sucede para o município de Esposende, nas restantes localidades os consumos médios mensais de água crescem positivamente com o aumento dos valores dos três parâmetros de temperatura. Os diagramas de dispersão de consumos médios mensais e

temperaturas mensais estão representados nas figuras A7.1, A7.5, A7.9, A7.13, A7.17 e A7.21, do Anexo VII.

**Tabela 5.7** Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas, médias, mínimas mensais e consumos médios mensais, no município de Esposende

		Tmax	Tmed	Tmin
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,76	0,82	0,81
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00

Os diagramas de dispersão revelam uma associação positiva e tendencialmente curvilínea entre os consumos médios mensais de água e os parâmetros de temperatura. Contrariamente, os diagramas de dispersão relativos a Santo Tirso demonstram tendências mais lineares.

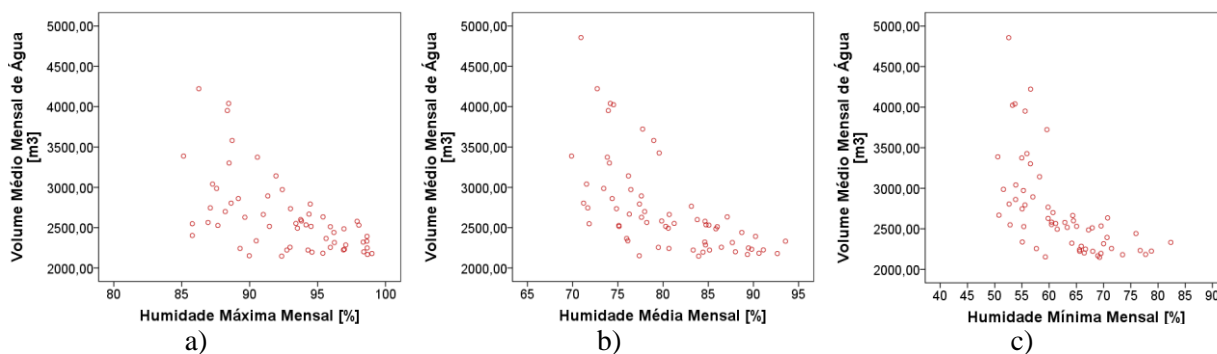
De uma forma geral, a dispersão de pontos é uniforme em toda a amplitude de valores, exceto os diagramas dos municípios de Barcelos, Vila do Conde e Santo Tirso que revelam maior dispersão.

Novamente, os valores de prova do teste K-S indicam distribuições não normalizadas. Os coeficientes de correlação revelam um grau de relacionamento moderado, tendencialmente forte, entre os três parâmetros de temperatura e os consumos de água. No entanto, Vila do Conde apresenta associações mais fracas, especialmente no que concerne ao parâmetro de temperatura mínimo.

Em geral, o parâmetro de temperatura mínimo revela uma associação mais fraca, enquanto que as temperaturas médias e máxima demonstram relacionamentos mais fortes com os consumos médios mensais de água.

### ***5.2.2 Correlação entre parâmetros de humidade relativa e consumos médios mensais de água***

Observando os diagramas de dispersão da Figura 5.6, estes revelam que os consumos de água tendem a diminuir com o crescimento dos teores de humidade. Quanto mais elevados os valores de humidade, maior é a associação com os consumos médios mensais de água. Uma maior dispersão e irregularidade são reveladas em relação ao parâmetro mínimo de humidade. As evoluções das variáveis seguem tendências curvilíneas, nos três parâmetros.



**Figura 5.6** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Esposende

Mantendo a mesma linha de análise, a Tabela 5.8 apresenta os resultados do teste K-S que indicam distribuições não normalizadas. Os coeficientes de correlação negativos assinalam a evolução inversa e relativamente forte entre os consumos médios mensais de água e os teores de humidade. O parâmetro mínimo é aquele que apresenta uma relação menos forte.

**Tabela 5.8** Coeficientes de correlação entre humidade máxima, média, mínima mensais e consumos médios mensais, no município de Esposende

		Hmax [%]	Hmed [%]	Hmin [%]
Volume Médio Diário de Água [m³]	$\rho$ de Spearman	-0,60	-0,72	-0,74
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00

Conforme já referido anteriormente, os diagramas de dispersão de consumos médios mensais e humidades mensais dos restantes municípios estão representados nas figuras A7.2, A7.6, A7.10, A7.14, A7.18 e A7.22, no Anexo VII.

Tal como o caso de Esposende, nos restantes municípios verifica-se que os consumos médios diários de água tendem a diminuir com o aumento dos teores de humidade. Para além disso, a associação entre ambas as variáveis aumenta no sentido do crescimento dos parâmetros de humidade, seguindo uma tendência curvilínea. Os diagramas de dispersão relativos a Santo Tirso demonstram tendências mais lineares.

Os parâmetros de humidade mínimo e máximo estão relacionados com dispersões mais acentuadas e maior irregularidade de pontos.

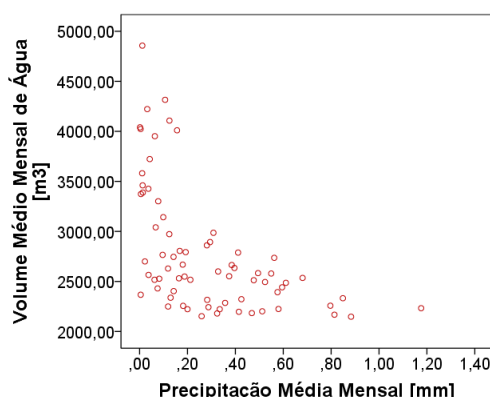
De forma semelhante, os valores de prova do teste K-S indicam distribuições não normalizadas. Os coeficientes de correlação revelam um grau de relacionamento moderado entre os três parâmetros de humidade e os consumos de água. Em geral, o parâmetro de

humidade mínimo revela uma associação mais fraca com os consumos médios mensais de água.

Exceccionalmente, nos municípios de Vila do Conde, Santo Tirso e Trofa, a associação entre os consumos de água e a humidade máxima é bastante fraca, verificada pela difusão de pontos do diagrama de dispersão correspondente.

### 5.2.3 *Correlação entre parâmetros de precipitação e consumos médios mensais de água*

Os consumos médios mensais de água tendem a diminuir com o aumento da precipitação média mensal, segundo uma tendência curvilínea acentuada. Tal facto é comprovado pelo diagrama da Figura 5.7 que demonstra que os consumos máximos ocorrem para valores de precipitação próximos de 0 mm.



**Figura 5.7** Diagramas de dispersão da precipitação média mensal e consumos médios mensais no município de Esposende

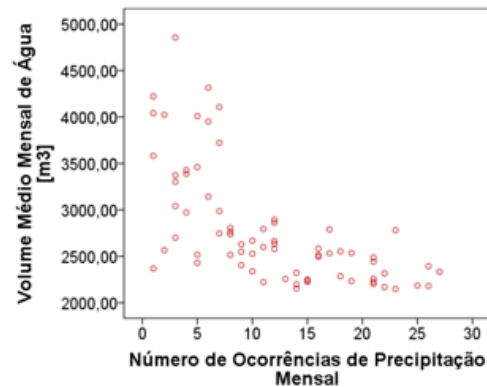
Os valores de prova do teste K-S indicam distribuições não normalizadas, pois tal como se pode observar, os coeficientes de correlação da Tabela 5.9 revelam uma tendência inversa e moderada entre ambas as variáveis.

**Tabela 5.9** Coeficientes de correlação entre precipitação média mensal e consumos médios mensais de água, no município de Esposende

		Precipitação média mensal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	-0,63
	Valor de Prova (p)	0,00

Por sua vez, o diagrama da Figura 5.8 representa a associação entre o número de dias em que ocorreram precipitações (por mês) e os consumos médios mensais de água. O sentido e a

evolução do diagrama são semelhantes ao gráfico de precipitação média mensal, ocorrendo uma diminuição dos consumos de água com o aumento do número de precipitações mensais. Em Esposende, os consumos de água mantêm-se elevados até às 7 ocorrências de precipitação mensais. Para um número superior, há uma queda acentuada seguida de um patamar constante dos consumos de água.



**Figura 5.8** Diagrama de dispersão do número dias de ocorrência de precipitação mensal e consumos médios mensais no município de Esposende

Os diagramas de dispersão de consumos médios mensais, precipitações médias mensais e número de precipitações por mês, dos restantes municípios estão representados nas figuras A7.3, A7.4, A7.7, A.8, A7.11, A7.12, A7.15, A7.16, A7.19, A7.20, A7.2e e A7.24, do Anexo VII.

Na totalidade dos municípios, os consumos médios mensais de água tendem a diminuir com o aumento da precipitação média mensal, seguindo uma tendência curvilínea menos acentuada quando comparada com a análise diária. Os consumos máximos ocorrem para valores de precipitação próximos de 0 mm.

Quanto aos valores de prova do teste K-S, estes indicam distribuições não normalizadas. Os coeficientes de correlação revelam uma tendência inversa e moderada entre ambas as variáveis. Em Vila do Conde o grau de relacionamento é relativamente fraco.

Semelhantes aos diagramas de precipitação média mensal, os diagramas de dispersão relativos ao número de dias de ocorrência de precipitação por mês, mostram uma diminuição dos consumos de água com o aumento do número dias em que ocorre precipitação, por mês. Na Tabela 5.10 são apresentados os números de dias de ocorrência de precipitação mensais, a partir dos quais os consumos de água diminuem acentuadamente. Na mesma tabela são

também indicados os números de dias ocorrência de precipitação mensal associados à estabilização e minimização dos consumos médios mensais de água.

**Tabela 5.10** Número de ocorrências de precipitação mensal associado à diminuição e estabilização de consumos médios mensais de água

Município	Nº de dias de ocorrência de precipitação mensal – diminuição dos consumos médios mensais	Nº dias de ocorrência de precipitação mensal – estabilização dos consumos médios mensais
Póvoa de Varzim	5	17
Barcelos	7	13
V. N. Famalicão	3	17
Vila do Conde	5	13
Santo Tirso	9	9
Trofa	7	13

### 5.3 Modelos de Regressão Simples

Os modelos de regressão simples traduzem a variação da variável dependente, o consumo médio de água, recorrendo matematicamente à variação de cada parâmetro meteorológico, conforme a expressão 2.1.

A linearidade dos modelos de regressão simples é influenciada pela relação entre os consumos de água e os parâmetros meteorológicos, e caracterizada por meio de correlações. Contudo, no presente caso torna-se essencial o espírito interpretativo dos resultados numéricos. Apesar dos modelos de regressão não linear (de grau 2 e 3) expressarem um melhor ajuste, através do coeficiente de correlação mais elevado, não poderão ser aplicados no presente estudo.

Esta génese de modelos não linear altera o seu comportamento a partir do ponto máximo ou mínimo. Por outras palavras, se um modelo não linear representar a variação da temperatura nos consumos de água, o ponto máximo da função corresponderá a um valor de temperatura a partir do qual os consumos começarão a evoluir segundo um sentido inverso. Para não suscitar dúvidas quanto à evolução das variáveis, são desenvolvidos modelos lineares em cada parâmetro meteorológico, com menor poder de projeção mas maior grau de confiança.

A variável dependente corresponde aos consumos médios diários ( $C_d$ ) ou mensais ( $C_m$ ) de água. As variáveis independentes são os parâmetros meteorológicos diários ( $T_{max_d}$ ,  $T_{med_d}$ ,  $T_{min_d}$ ,  $H_{max_d}$ ,  $H_{med_d}$ ,  $H_{min_d}$ ,  $P_{total_d}$ ) ou mensais ( $T_{max_m}$ ,  $T_{med_m}$ ,  $T_{min_m}$ ,  $H_{max_m}$ ,  $H_{med_m}$ ,  $H_{min_m}$ ,  $P_{total_m}$ )

O parâmetro relativo à ocorrência de precipitação não é incluído nos modelos de regressão, por se tornar redundante na presença da variável de intensidade de precipitação, diária ou mensal. A fim de simplificar os modelos, serão apenas incluídas as 7 variáveis meteorológicas relativas à temperatura, humidade e intensidade de precipitação.

Para cada modelo são obtidos os coeficientes de correlação ( $R$ ) e de determinação ( $R^2$ ) que traduzem o grau de associação entre as variáveis e o poder explicativo do modelo.

### 5.3.1 Modelos de regressão simples diários

Na Tabela 5.11 podemos encontrar os coeficientes constituintes dos modelos de regressão linear simples, aplicados aos consumos médios diários de água do município de Esposende. Em conjunto, formam uma expressão matemática que traduz a relação individual entre cada uma das variáveis meteorológicas e os consumos médios diários de água.

**Tabela 5.11** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Esposende

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	1224,35	74,43	0,70	0,49
T <sub>med</sub>	1501,10	82,85	0,68	0,46
T <sub>min</sub>	1970,85	73,92	0,59	0,35
H <sub>max</sub>	6690,37	-43,49	0,52	0,27
H <sub>med</sub>	4236,75	-20,57	0,54	0,30
H <sub>min</sub>	3089,91	-9,93	0,53	0,28
P <sub>total</sub>	2805,96	-212,96	0,26	0,07

As tabelas A8.1 a A8.6, presentes no Anexo VIII, apresentam os parâmetros dos modelos de regressão simples, aplicados aos consumos médios diários de água dos restantes municípios.

### 5.3.2 Modelos de regressão simples mensais

Para o município de Esposende, a Tabela 5.12 apresenta os parâmetros de regressão linear simples que caracterizam a associação individual entre os parâmetros meteorológicos e os consumos médios mensais de água do mesmo.

A informação relativa aos restantes municípios pode ser encontrada nas tabelas A9.1 a A9.6, presentes no Anexo IX, que apresentam parâmetros dos modelos de regressão simples aplicados aos consumos médios mensais de água dos mesmos.



**Tabela 5.12** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Esposende

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	990,84	89,08	0,73	0,53
T <sub>med</sub>	1135,89	108,64	0,77	0,60
T <sub>min</sub>	1527,49	120,88	0,77	0,60
H <sub>max</sub>	8894,79	-67,52	0,58	0,34
H <sub>med</sub>	7425,47	-58,38	0,63	0,40
H <sub>min</sub>	5585,22	-45,97	0,61	0,38
P <sub>total</sub>	3167,57	-1341,08	0,54	0,30

#### 5.4 Ilações sobre a análise estatística bivariada

Tendo em conta os modelos de regressão linear simples, a temperatura surge como a variável meteorológica que exerce maior influência na variação dos consumos de água. Os coeficientes de determinação dos modelos de regressão simples indicam que os parâmetros de temperatura são responsáveis por uma variação entre 8 % a 49 %, nos consumos médios diários de água.

Não muito discrepante mas em sentido inverso, o teor de humidade provoca, em média, uma variação entre 6 % a 34 % nos consumos médios diários de água. A precipitação total diária, apesar de influenciar apenas cerca de 6 % da variação dos consumos médios diários, não pode ser desprezada deste estudo.

Desta forma, a temperatura máxima, o teor de humidade médio e a precipitação total diária são os parâmetros meteorológicos mais relacionados com os consumos médios diários de água e causam maior influência na variação dos mesmos.

O parâmetro relativo à ocorrência de precipitação permite apenas concluir sobre o decréscimo dos consumos médios diários de água no caso de ocorrer ou não precipitação. Como referido, a presença de chuva tem maior impacto sobre os consumos de água em Esposende e menor efeito sobre regiões mais rurais e interiores, como Santo Tirso.

Numa perspetiva mensal, a temperatura proporciona uma variação nos consumos médios mensais de água na ordem de 8 % a 60 %. O teor de humidade representa cerca de 7 % a 54 % da variação dos mesmos consumos. Já a precipitação média mensal, sendo o fator menos preponderante, representa uma oscilação entre 9 % a 31 % nos consumos de água. Os graus

de relacionamento entre as variáveis e a capacidade explicativa dos modelos mensais são superiores aos resultantes da análise bivariada diária.

## **5.5 Índices Meteorológicos**

No seguimento da análise de correlações e na formulação de modelos simples e lineares, é pertinente a determinação de limites meteorológicos a partir dos quais os consumos de água aumentam ou diminuem. Designados por índices meteorológicos, representam a evolução provocada nos consumos de água, pelo incremento unitário de cada variável meteorológica.

No seguimento da análise bivariada, a temperatura máxima, o teor de humidade médio e a precipitação total diária são os parâmetros eleitos para o cálculo de índices meteorológicos.

### **5.5.1 Índices meteorológicos relativos a consumos diários de água**

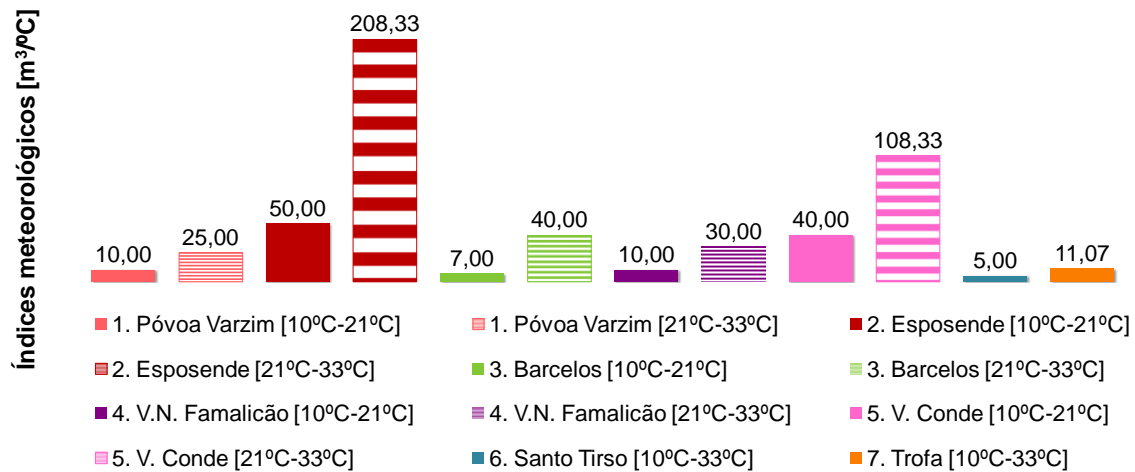
Com recurso aos diagramas de dispersão de análise diária, são identificadas diferentes tendências de evolução das variáveis. A determinação de patamares e intervalos meteorológicos, a partir dos quais se regista uma alteração no comportamento dos consumos de água, é determinante para o cálculo dos índices.

Distinguem-se duas tendências de evolução nos diagramas de dispersão de temperatura. Atipicamente, em Santo Tirso e Trofa as evoluções seguem tendências únicas e lineares, o que remete ao cálculo de um índice meteorológico aplicável em todo o intervalo de valores. Como estratégia de uniformização, são presumidos os intervalos 10 °C – 35 °C para Santo Tirso, 10 °C – 38 °C para a Trofa e duplo intervalo de 10 °C – 20 °C e 21 °C – 33 °C, para os restantes municípios.

As evoluções dos consumos médios diários e humidade média diária seguem disposições lineares, justificando a adoção de um intervalo meteorológico para cada município em questão.

Os gráficos de dispersão relativos à precipitação total diária demonstram um decréscimo acentuado dos consumos de água para precipitações imediatamente próximas de 0 mm. É considerada uma variação aproximada e global para a concretização destes índices meteorológicos.

Nas Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11 estão representados os índices meteorológicos para os consumos médios diários de água, baseados na temperatura máxima, humidade média e precipitação total diária, respetivamente.



**Figura 5.9** Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na temperatura máxima diária

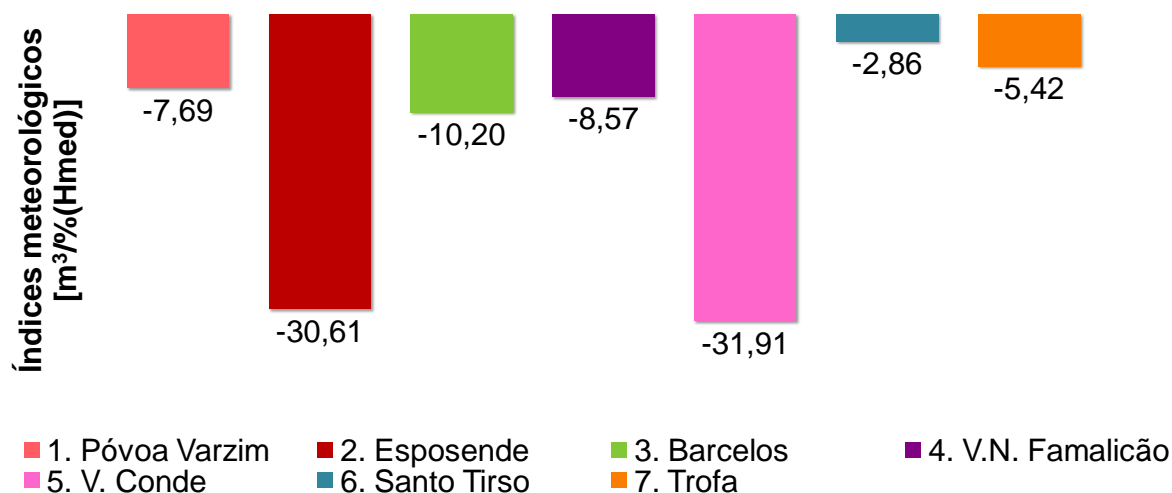
Um índice de  $10 \text{ m}^3/\text{°C}$  significa que, por cada grau de temperatura acrescido, os consumos médios diários de água, do município da Póvoa de Varzim, aumentam  $10 \text{ m}^3$ . A interpretação dos índices de humidade e precipitação é semelhante. O sinal negativo indica a diminuição dos consumos médios diários de água por cada unidade meteorológica incrementada (% ou mm).

No entanto, uma vez que nos segundos intervalos de temperatura os índices são superiores, o aumento dos consumos médios diários de água é mais acentuado para temperaturas mais elevadas.

Por cada grau de aumento da temperatura máxima diária, são as localidades de Esposende e Vila do Conde que sofrem maior variação nos volumes de água consumidos. Esta variação por unidade de temperatura é semelhante entre a Póvoa de Varzim, Barcelos e V. N. de Famalicão. Santo Tirso e Trofa apresentam índices próximos e baixos, traduzindo maior independência dos consumos de água face à variação térmica.

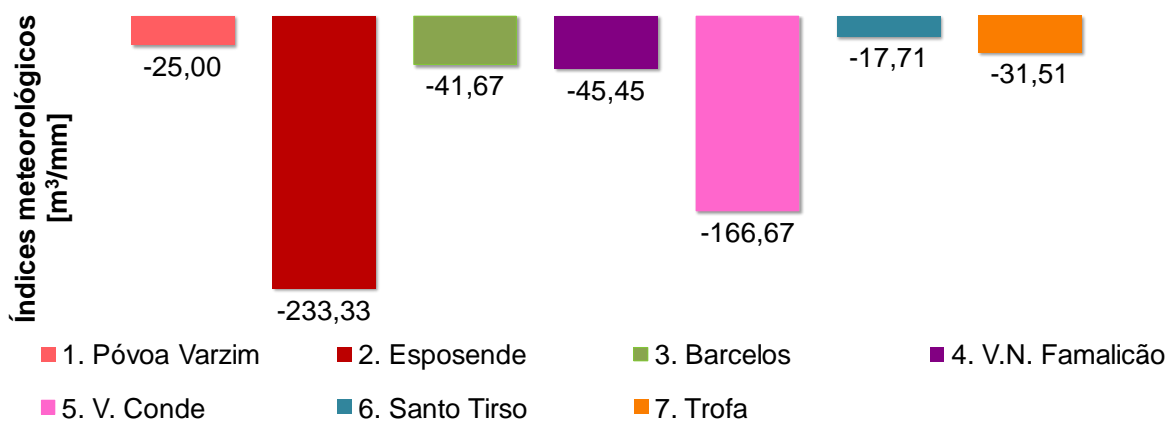
Os índices da Figura 5.10 revelam que, por cada 1 % de aumento da humidade média diária, a maior variação dos consumos de água é sentida em Esposende e Vila do Conde. A variação dos consumos de água provocada por alteração da humidade em Esposende é drasticamente inferior, comparativamente com a temperatura máxima.

Os municípios de Barcelos, V. N. de Famalicão e Póvoa de Varzim apresentam índices semelhantes. Em Santo Tirso e na Trofa é menor o impacto da oscilação da humidade nos consumos de água.



**Figura 5.10** Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na humidade média diária

Concordando com a análise correlacional, constata-se pela Figura 5.11 que em Esposende e Vila do Conde, a diminuição dos consumos de água, por cada 1 mm de precipitação diária, é mais acentuada. Pelo contrário, em Santo Tirso a variação dos volumes de água consumidos diariamente é menos vulnerável à intensidade de precipitação diária.



**Figura 5.11** Índices meteorológicos para consumos médios diários de água baseados na precipitação total diária

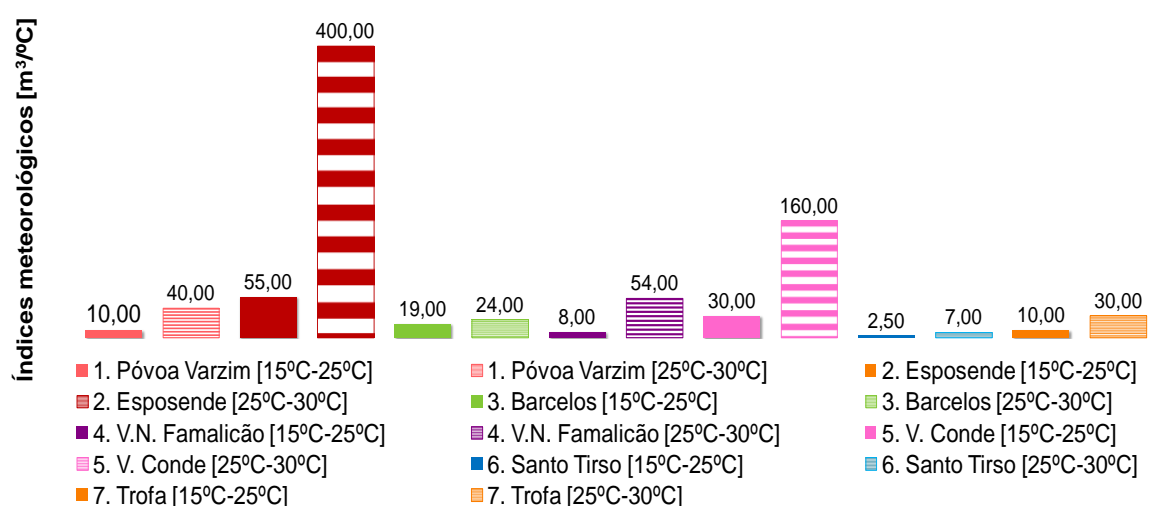
### 5.5.2 Índices meteorológicos relativos a consumos mensais de água

Os índices meteorológicos para consumos médios mensais de água envolvem a temperatura máxima, humidade média, precipitação média mensal e o número de ocorrências de precipitação mensal.

Os diagramas de dispersão mensais realçam duas tendências de evolução distintas, aplicáveis a todos os parâmetros meteorológicos. Por simplificação e uniformização, são assumidos os intervalos de 15 °C – 25 °C e 25 °C – 30 °C para a temperatura máxima, 70 % – 80 % e 80 % – 95 % relativos ao teor de humidade médio, 0,0 mm – 0,20 mm e 0,20 mm – 1,20 mm respetivos à precipitação média mensal e 0 – 10 e 10 – 31 dias de ocorrências de precipitação mensais.

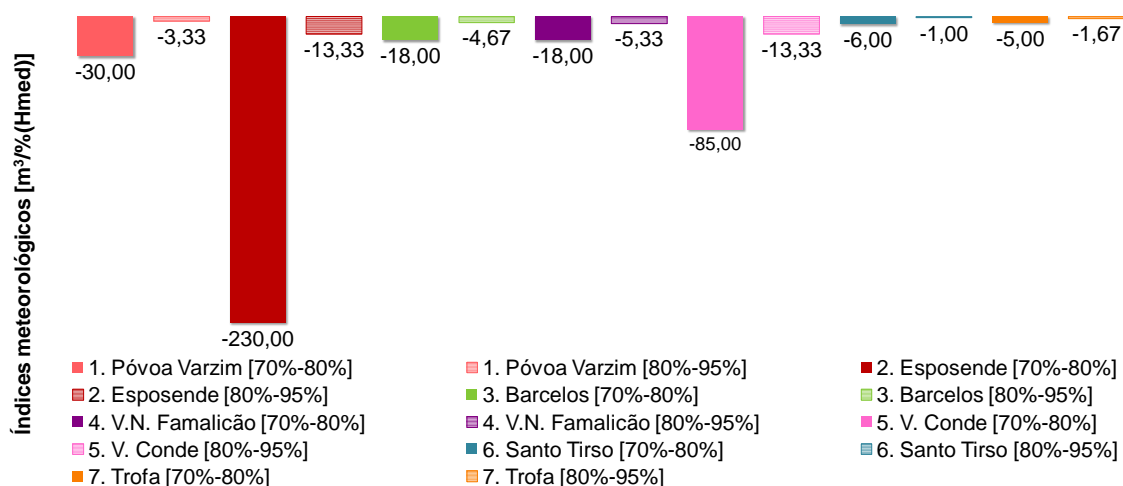
Tal como constatado pelos índices meteorológicos diários, a Figura 5.12 demonstra que o maior impacto da variação de temperatura ocorre nos volumes de água consumidos pelos municípios de Esposende e Vila do Conde.

Contudo, o aumento dos consumos de água é mais acentuado numa perspetiva mensal do que numa visão diária. A transição da temperatura máxima mensal de 25 °C para 26 °C ocasiona um aumento de 345 m<sup>3</sup> e 130 m<sup>3</sup> nos consumos de água de Esposende e Vila do Conde, respetivamente. Os consumos de água de Santo Tirso são pouco influenciados pela oscilação de temperatura.



**Figura 5.12** Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados na temperatura máxima mensal

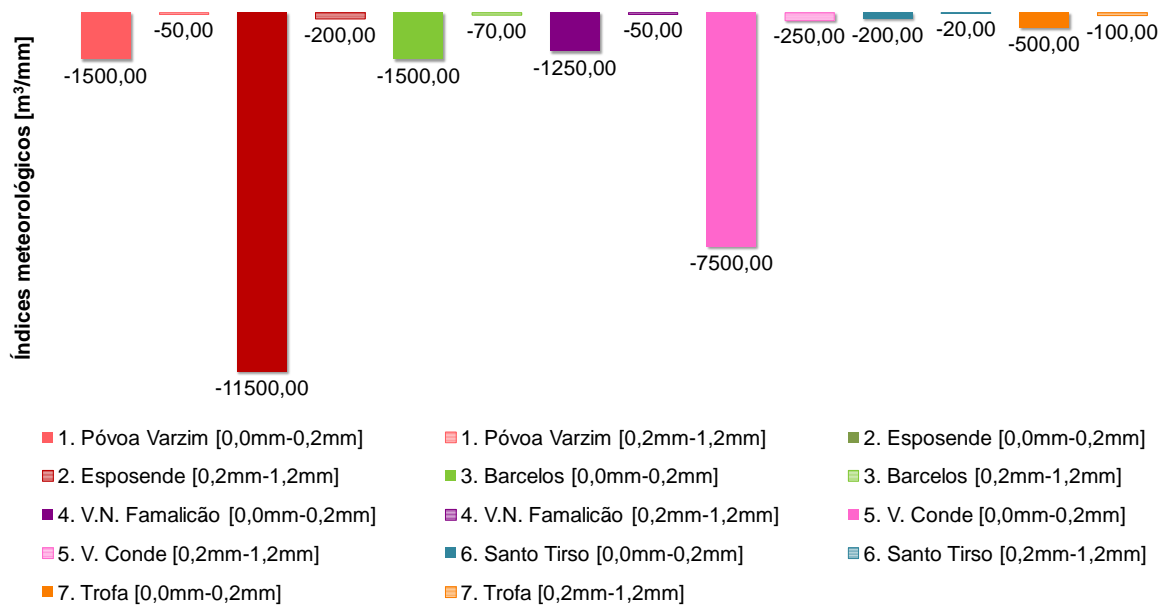
Relativamente ao noroeste litoral, os índices apresentados na Figura 5.13 destacam os consumos de água dos municípios costeiros (Esposende, Vila do Conde e Póvoa de Varzim) como os mais influenciados pela variação do teor de humidade médio mensal. A transição deste parâmetro de 80 % para 81 %, provoca quedas acentuadas nos consumos de água das localidades referidas. Contrariamente, os consumos de água em Santo Tirso e Trofa são pouco vulneráveis a esta oscilação meteorológica.



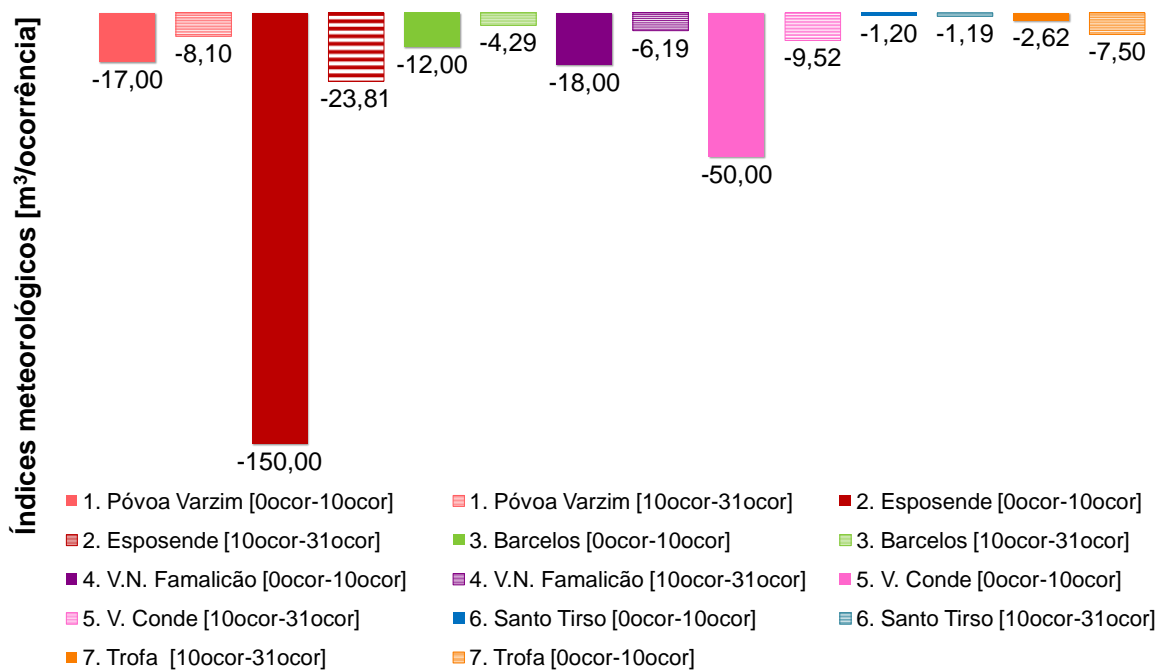
**Figura 5.13** Índices meteorológicos para os consumos médios mensais de água baseados no teor de humidade médio mensal

Por seu lado, os índices meteorológicos da Figura 5.14 realçam que a diminuição dos consumos médios mensais de água é mais acentuada para valores de precipitação média mensal baixos. Tal como nos restantes parâmetros, Esposende e Vila do Conde são as regiões mais afetadas pela intensidade de precipitação, ao contrário de Santo Tirso e Trofa.

Também tal como esperado e representado na Figura 5.15, os consumos de água de Esposende e Vila do Conde são igualmente bastante afetados pelo número de dias em que ocorre precipitação. Basta um evento de precipitação mensal para que os consumos de água reduzam em 150 m<sup>3</sup> em Esposende. As reações à ocorrência de precipitação dos municípios de Póvoa de Varzim, Barcelos e V. N. de Famalicão são semelhantes entre si. Em Santo Tirso não se destacam diferenças significativas nos consumos de água, face à variabilidade de dias de chuva.



**Figura 5.14** Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados na precipitação média mensal



**Figura 5.15** Índices meteorológicos para consumos médios mensais de água baseados no número de dias de ocorrência de precipitação mensal

Globalmente, a variação dos consumos médios mensais de água é mais ténue para um número de dias de precipitação superior a 10 por mês. A queda dos consumos é atenuada em cerca de 80 % em Esposende e Vila do Conde e entre 50 % a 60 % nos restantes municípios.





## 6 MODELOS DE PROJEÇÃO DE CONSUMOS DE ÁGUA

### 6.1 Estratégia de Abordagem

Posteriormente ao estudo individual e simultâneo das variáveis intervenientes, prossegue-se com o desenvolvimento dos MPCA com base nas variáveis meteorológicas. As expressões a obter serão modelos de projeção de consumos médios diários (MPCAd) e mensais (MPCAm) de água.

#### 6.1.1 Modelos de Regressão Linear Múltipla

Por processos estatísticos pretende-se formular uma expressão matemática válida que estime os valores dos consumos de água através da combinação linear das variáveis meteorológicas. Estas são associadas a um conjunto de coeficientes ( $\beta_{0,\dots,i}$ ) do modelo que traduzem a sua ponderação individual na variação dos consumos de água.

As fórmulas gerais dos modelos de projeção de consumos médios diários e mensais são apresentadas nas expressões 6.1 e 6.2, respetivamente:

$$C_{md} = \beta_0 + \beta_1 T_{max,d} + \beta_2 T_{med,d} + \beta_3 T_{min,d} + \beta_4 H_{max,d} + \beta_5 H_{med,d} + \beta_6 H_{min,d} + \beta_7 P_{total,d} \quad (6.1)$$

$$C_{mm} = \beta_0 + \beta_1 T_{max,m} + \beta_2 T_{med,m} + \beta_3 T_{min,m} + \beta_4 H_{max,mm} + \beta_5 H_{med,m} + \beta_6 H_{min,m} + \beta_7 P_{total,m} \quad (6.2)$$

Onde,

$C_{md}$  – consumo médio diário de água [ $m^3$ ];

$C_{mm}$  – consumo médio mensal de água [ $m^3$ ];

$\beta_0$  – constante do modelo de regressão

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$  – coeficientes de regressão associados às variáveis independentes;

$T_{max,d}, T_{med,d}, T_{min,d}$  – temperaturas máxima, média e mínima diárias [ $^{\circ}C$ ]

$T_{max,m}, T_{med,m}, T_{min,m}$  - temperaturas máxima, média e mínima mensais [ $^{\circ}C$ ]

$H_{max,d}, H_{med,d}, H_{min,d}$  – teores de humidade máximo, médio e mínimo diários [%]

$H_{max,m}, H_{med,m}, H_{min,m}$  - teores de humidade máximo, médio e mínimo mensais [%]

$P_{total,d}$  – precipitação total diária [mm]

$P_{total,m}$  – precipitação média mensal [mm]

### 6.1.2 Pressupostos de aplicação dos modelos de regressão linear múltipla

A definição de um conjunto de hipóteses de base precede a formulação dos modelos de regressão. Os modelos de regressão assentes em séries cronológicas são avaliados segundo testes estatísticos que permitem concluir sobre a adequabilidade e a credibilidade da expressão concebida.

Uma das metodologias adotadas no respeitante a modelos de regressão consiste na subdivisão em duas partes da amostra de dados inicial: uma para o desenvolvimento dos modelos propriamente ditos e definição dos respetivos parâmetros de regressão; e outra para a sua validação, ou seja, avaliação do desempenho das expressões formuladas (Bakker *et. al.*, 2013). Este método evita efeitos tendenciais e confere uma maior credibilidade aos modelos (Minussi *et. al.*, 2002).

Visto que o período amostral de base envolve 6 anos, é plausível a utilização de dados de consumos e meteorológicos respetivos aos 5 primeiros anos da amostra (entre 2008 e 2012, inclusive) para a formulação dos modelos. As observações de 2013 destinam-se à validação final das expressões obtidas (Figura 6.1).

Hipóteses gerais relativas à correta especificação de dados de base, não devem ser desprezadas. Matos (1995) afirma que, na formulação e avaliação dos modelos de regressão linear múltipla, deve ter-se em atenção que os erros resultantes apresentam média e correlação nulas, variância constante e distribuição normalizada. Estes aspetos, não são essenciais para a derivação das expressões matemáticas mas na aplicação de testes de hipóteses e validações estatísticas.



**Figura 6.1** Esquematização das etapas de formulação e validação dos MPCAs

## 6.2 Modelos de projeção de consumos diários de água

Introduzidas as séries cronológicas de consumos médios diários de água e de variáveis meteorológicas diárias, no *software* IBM SPSS, obtiveram-se, para cada município em estudo,

os coeficientes de regressão associados a cada variável meteorológica explicativa ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ ) e a constante de regressão ( $\beta_0$ ), constituindo os MPCAd propriamente ditos.

A avaliação da qualidade de ajuste dos modelos é realizada através da análise de variância (ANOVA), assim como dos parâmetros resultantes das estatísticas dos testes de hipótese *F-test* (F) e *t-test* (t), os respectivos valores de prova (p), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e o erro padrão de estimativa (SEE).

O diagnóstico do modelo quanto à multicolinearidade ou independência das variáveis explicativas é traduzido pelos parâmetros de tolerância (Tol) e inflação da variância (VIF). Para avaliação da autocorrelação residual é apresentado o resultado do teste de *Durbin-Watson* (DW).

Todos estes parâmetros e resultados de teste são apresentados na Tabela 6.1, relativa ao município de Esposende, e nas tabelas A10.1 a A10.6 do Anexo X, correspondentes aos restantes municípios.

**Tabela 6.1** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Esposende

MPCAd - Esposende												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância							Multi-colinearidade		Auto-correlação
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	p ( <i>F-test</i> )	t	p ( <i>t-test</i> )	Tol	VIF	
-	0	2469,43	0,52	0,52	324,84	277,51	0,00	19,03	0,00	-	-	0,39
$T_{max,d}$	1	29,05						5,34	0,00	0,06	17,73	
$T_{med,d}$	2	31,83						3,81	0,00	0,03	30,34	
$T_{min,d}$	3	-6,70						-1,46	0,14	0,11	9,41	
$H_{max,d}$	4	-7,87						-3,37	0,00	0,21	4,68	
$H_{med,d}$	5	-2,89						-1,04	0,30	0,05	18,59	
$H_{min,d}$	6	2,51						1,58	0,11	0,08	12,85	
$P_{total,d}$	7	-61,44						-5,62	0,00	0,79	1,27	

### 6.3 Modelos de projeção de consumos mensais de água

Os MPCAm foram desenvolvidos nos mesmos termos dos MPCAd. Para cada município em estudo são apresentados os coeficientes de regressão ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ ), a constante de regressão ( $\beta_0$ ), a análise de variância (ANOVA) que inclui os resultados dos testes de hipóteses F-test (F) e *t-test* (t), respetivos valores de prova (p), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e o erro padrão de estimativa (SEE).

Todos estes parâmetros e resultados de teste são apresentados na Tabela 6.2, relativa ao município de Esposende, e nas tabelas A11.1 a A11.6 do Anexo XI, correspondentes aos restantes municípios.

**Tabela 6.2** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Esposende.

MPCAm - Esposende												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância							Multi-colinearidade		Auto-correção
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	p (F-test)	t	p (t-test)	Tol	VIF	
-	0	1843,40	0,72	0,68	273,05	16,19	0,00	1,22	0,23			1,96
$T_{\max,m}$	1	133,33						1,31	0,20	0,01	162,15	
$T_{\text{med},m}$	2	25,76						0,18	0,86	0,00	262,57	
$T_{\min,m}$	3	-88,82						-1,27	0,21	0,02	47,54	
$H_{\max,m}$	4	-2,83						-0,08	0,94	0,07	14,84	
$H_{\text{med},m}$	5	-56,87						-1,03	0,31	0,01	83,57	
$H_{\min,m}$	6	58,37						1,72	0,09	0,02	48,31	
$P_{\text{total},m}$	7	-194,26						-0,82	0,41	0,40	2,50	

### 6.4 Análise Estatística dos Modelos de Projeção de Consumos de Água

Numa análise aos MPCAd e MPCAm obtidos e respetivos resultados estatísticos, retém-se que a capacidade explicativa dos modelos é superior quando baseados em amostras de registos menores. Os MPCAm traduzem a variação dos consumos de água com base em parâmetros meteorológicos, de forma mais ajustada e qualificada do que os MPCAd.

Os coeficientes de determinação dos MPCAd variam entre 0,21 e 0,52, correspondendo a um nível de projeção baixo a moderado. Os mesmos parâmetros relativos aos MPCAm variam entre 0,54 e 0,79. Apesar das variáveis meteorológicas apenas contribuírem, em média, em 66 % da variação dos consumos médios mensais de água, os modelos obtidos apresentam uma estimativa significativa e a qualidade do ajuste dos MPCAm é bastante superior à dos MPCAd.

O erro padrão de estimativa (SEE) corresponde à diferença total entre volumes de água reais e projetados pelos modelos. O SEE tem maior ponderação nos MPCAd de Vila do Conde e Póvoa de Varzim, representando cerca de 34 % e 21 % do consumo médio de água, no período amostral definido, respetivamente.

O teste de hipóteses *F-test* permite concluir sobre a capacidade explicativa dos modelos, na sua globalidade. Os valores de prova nulos indicam que os MPCAd e MPCAm conseguem traduzir a variação dos consumos de água através dos parâmetros meteorológicos, a um nível de confiança de 95 %.

O diagnóstico estatístico dos modelos avalia a questão da autocorrelação residual. Aplicado aos MPCAd, os resultados do teste D-W são distantes de 2, o que sugere uma elevada probabilidade de dependência entre os erros obtidos. Numa perspetiva mensal, apenas são detetados problemas de autocorrelação relativamente aos MPCAm dos municípios de Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Santo Tirso. Estes resultados podem pôr em causa a eficiência dos coeficientes estimados e os resultados dos restantes testes estatísticos.

Os sinais dos parâmetros de regressão obtidos mostram-se incoerentes perante a análise bivariada realizada. Os consumos de água tendem a crescer com o aumento dos parâmetros de temperatura, a diminuir com o aumento da humidade e intensidade de precipitação. Contudo, na maioria dos MPCAd os parâmetros de temperatura e humidade mínimas apresentam sinal controverso. Nos MPCAm destacam-se os coeficientes associados à humidade mínima.

Os modelos de projeção de Vila do Conde apresentam o maior número de coeficientes contraditórios, o que pode estar relacionado com a baixa correlação entre as variáveis. Os parâmetros meteorológicos mais relacionados com os consumos de água são os mais regulares em modelos de projeção, ao passo que, os de menor correlação são mais suscetíveis a irregularidades.

O *t-test* permite avaliar a capacidade explicativa dos coeficientes de regressão e a contribuição de cada variável independente, nos consumos de água. Confirmando a controvérsia dos sinais dos coeficientes, na generalidade dos MPCAd, cerca de 3 parâmetros meteorológicos não são estatisticamente significativos, a um nível de confiança de 95 %.

A humidade mínima é o parâmetro com menor contribuição para 5 dos municípios. Contrariamente, a temperatura máxima, a humidade média e a precipitação total diária são, em média, mais significativos do que os restantes parâmetros. Os resultados do *t-test* são agravados nos MPCAm, onde somente a temperatura máxima e a precipitação média mensal expressam um contributo significativo.

Em Vila Nova de Famalicão e Santo Tirso os consumos de água são significativamente influenciados por 3 e 4 parâmetros meteorológicos. Contrariamente, em Esposende e na Trofa nenhum dos parâmetros contribui para a variação dos consumos médios mensais de água.

Estes resultados poderiam ser melhorados se o nível de confiança diminuísse, o que alargaria a margem de validação do valor de prova e alguns dos parâmetros meteorológicos passariam a contribuir para a variação dos consumos de água.

Os resultados do *t-test* sugerem forte redundância e relação entre as variáveis independentes. Pressupondo que 10 é o limite máximo de VIF, a partir do qual o desempenho dos indicadores de regressão é afetado, os MPCAd demonstraram que apenas os parâmetros relativos à temperatura mínima, humidade máxima e precipitação total diária são linearmente independentes das restantes variáveis. Nos resultados aplicados aos MPCAm verifica-se que apenas a precipitação média mensal é linearmente independente das demais.

Uma das causas que origina a multicolinearidade reside no excesso de variáveis independentes num só modelo de regressão (Dias, 2008). A situação de dependência linear entre variáveis proporciona redundância na informação, inclusive a alteração dos sinais dos parâmetros e a diminuição dos valores das estatísticas testadas (Matos, 1995; Amaro, 2014).

Uma das estratégias de diminuição do efeito da multicolinearidade reside na eliminação de variáveis explicativas com menor influência sobre a dependente. O *software* SPSS permite formular os MPCAd e MPCAm com o mesmo conjunto de dados e omitir algumas das variáveis independentes.

Das várias hipóteses obtidas, constata-se que, para um menor número de variáveis independentes (temperatura máxima, humidade média e precipitação total diária), os modelos não apresentam problemas de multicolinearidade. Contudo, os resultados do *F-test* são agravados, resultando em SEE mais elevados e menores coeficientes de determinação.

A criação de MPCA, cujas variáveis sejam linearmente independentes, põe em causa a credibilidade e a capacidade de projeção. Matos (1995) defende que há consequências inerentes à eliminação de variáveis multicolineares, nomeadamente, uma diminuição da especificação e do ajuste do modelo.

A multicolinearidade não impossibilita o cálculo dos parâmetros de regressão nem diminui o poder de previsão ou o grau de confiança dos modelos. O seu efeito está relacionado com as características das variáveis explicativas e não com a estatística do modelo de regressão linear (Dias, 2008; Gutmann, 2009).

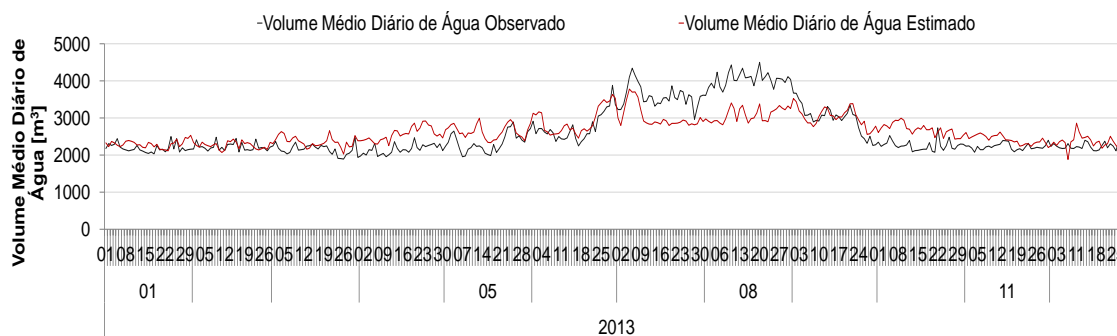
Apesar de baixa influência individual das variáveis independentes sobre a dependente, torna-se complexa a projeção dos consumos de água sem a contribuição do conjunto de todos os parâmetros meteorológicos adotados. Atendendo ao objetivo inicial, os MPCAd e MPCAm apresentados, representam da melhor forma a influência das variáveis meteorológicas nos consumos de água na região Noroeste.

## **6.5 Validação dos Modelos de Projeção de Consumos de Água**

A introdução dos registos meteorológicos respetivos ao ano de 2013, nas expressões desenvolvidas, resulta nos consumos médios diários e mensais de água estimados. A diferença entre os volumes de água registados em 2013 e os estimados constitui o erro absoluto de estimativa dos modelos. O erro médio diário e respetiva representação percentual possibilitam a avaliação da potencialidade de projeção dos MPCA.

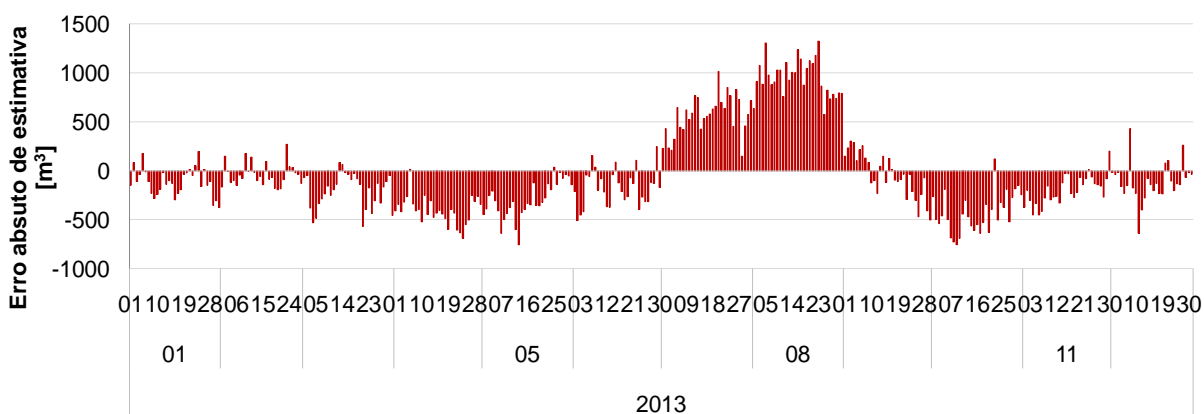
### ***6.5.1 Validação dos modelos de projeção de consumos médios diários de água***

Os consumos médios diários de água, observados e estimados em 2013, relativos ao município de Esposende, podem ser observados no gráfico da Figura 6.2.



**Figura 6.2** Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Esposende

Também a diferença entre volumes de água observados e estimados é traduzida, em erros absolutos, pelo gráfico de barras da Figura 6.3. Um erro positivo reflete uma subestimação dos consumos de água. Se os consumos de água forem sobrestimados, o erro apresenta valor negativo.

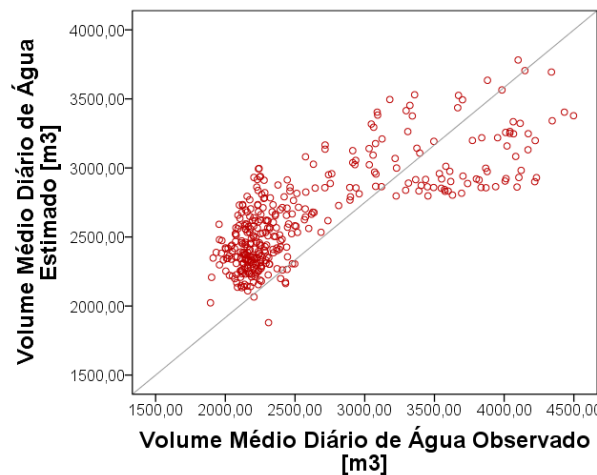


**Figura 6.3** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de Esposende

Por outro lado, os diagramas de dispersão permitem representar a correlação entre os volumes de água estimados e observados. A reta de declive 1 demonstra a situação ideal de coincidência entre a realidade e estimativa. Quanto maior a concentração de pontos na proximidade da reta e o respetivo coeficiente de correlação, menor o erro de estimativa cometido e maior o grau de estimação do respetivo MPCAd. O diagrama de dispersão relativo à validação do MPCAd de Esposende está representado na Figura 6.4.

Os gráficos de consumos médios diários de água estimados e observados, os gráficos de barras de erros absolutos e diagramas de dispersão estão apresentados no Anexo XII, discriminadamente por município.





**Figura 6.4** Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município de Esposende

O MPCAd aplicado aos consumos médios diários de Esposende apresenta um erro médio diário de 345,93 m<sup>3</sup>, correspondente a um erro relativo de 13 % do consumo médio anual. O coeficiente de correlação entre os consumos de água estimados e observados é de 0,73.

Os resultados da avaliação dos MPCAd aplicados aos restantes municípios estão, sumariamente, indicados na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3** Resultados da avaliação dos MPCAd aplicados aos municípios

Município	Erro Médio diário [m <sup>3</sup> ]	Erro Médio Relativo [%]	R
Póvoa de Varzim	43,37	15	0,63
Barcelos	139,08	19	0,42
V. N. de Famalicão	114,35	16	0,27
Vila do Conde	400,30	68	0,64
Santo Tirso	24,35	12	0,32
Trofa	48,98	7	0,67

Numa análise aos gráficos de consumos de água estimados e observados, retém-se que os MPCAd são insensíveis a variações de consumos médios diários pontuais. Por outras palavras, as oscilações de consumos de água relacionadas com fins-de-semana ou dias festivos não são acompanhadas pelos MPCAd, rigorosamente.

Contudo, os MPCAd reproduzem as tendências mensais, flutuações provocadas pelas estações do ano e a sazonalidade evidenciada pelo aumento de consumos verificado nos meses de verão. Em termos globais, os MPCAd mantêm-se próximos dos registos observados nas estações da primavera, outono e inverno. A partir do mês de maio e durante os meses de verão, os modelos tendem a subestimar os consumos médios diários.

Relativamente aos consumos de água observados, os MPCAd cometem, em média, um erro de 15 % do volume médio anual. Excepcionalmente, o MPCAd do município da Trofa apresenta a menor discrepância entre os consumos registados e estimados, com uma taxa de erro de 7 %. Contrariamente, o MPCAd de Vila do Conde subestima os consumos de água ao longo do período de validação e apresenta a maior imprecisão entre os municípios, com uma taxa de erro de 68 %.

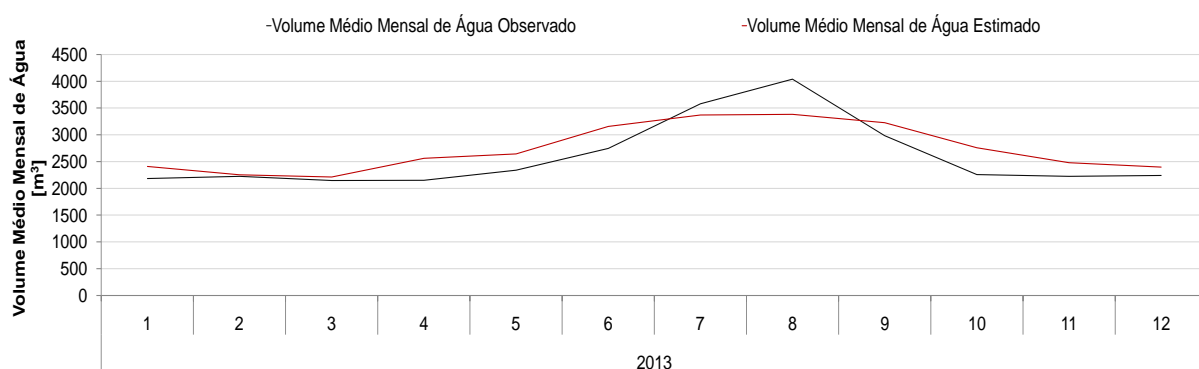
O grau de relacionamento entre os consumos estimados e observados permite avaliar a capacidade de projeção dos MPCAd. O coeficiente de correlação médio entre os MPCAd dos vários municípios é de 0,53, representando um nível de estimativa moderado. Em média, mais de 35 % dos valores de consumos médios projetados aproximam-se da realidade.

Apesar de não corresponder ao menor erro médio, o poder de projeção do MPCAd de Esposende é bastante significativo, resultando em consumos de água estimados próximos da realidade. O MPCAd de Vila Nova de Famalicão apresenta o menor grau de relacionamento contínuo entre os consumos médios diários estimados e observados.

Embora os resultados dos MPCAd formulados remetam para um nível de estimativa moderado, o poder de projeção poderia ser superior caso se adotassem medidas de correção relacionadas com a análise estatística anterior.

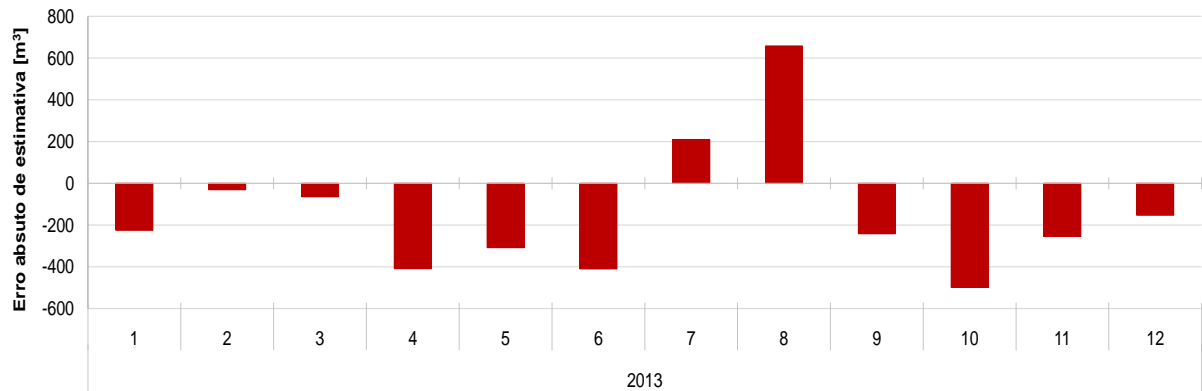
### 6.5.2 Validação dos modelos de projeção de consumos médios mensais de água

Tal como realizado para a validação dos MPCAd, o gráfico (Figura 6.5) representa os consumos médios mensais de água observados e estimados em 2013, relativos ao município de Esposende.



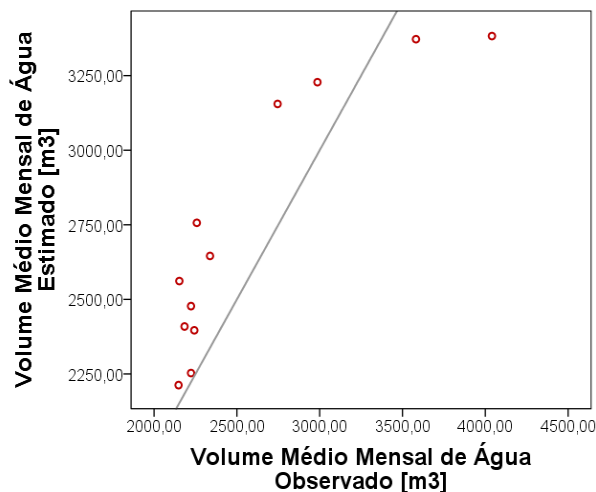
**Figura 6.5** Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Esposende

Também a diferença entre volumes de água observados e estimados é traduzida, em erros absolutos, pelo gráfico de barras da Figura 6.6.



**Figura 6.6** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAM do município de Esposende

Já o diagrama de dispersão relativo à validação do MPCAM de Esposende está representado na Figura 6.7.



**Figura 6.7** Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Esposende

O MPCAM aplicado aos consumos médios mensais de Esposende apresenta um erro médio mensal de  $288,50 \text{ m}^3$ , correspondente a um erro relativo de 11 % do consumo médio anual. O coeficiente de correlação entre os consumos de água estimados e observados é de 0,89.

Como habitualmente, os resultados da avaliação dos MPCAd aplicados aos restantes municípios estão, sumariamente, indicados na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4** Resultados da avaliação dos MPCAm aplicados aos municípios

Município	Erro Médio diário [m <sup>3</sup> ]	Erro Médio Relativo [%]	R
Póvoa de Varzim	34,27	11	0,77
Barcelos	117,85	15	0,59
V. N. de Famalicão	70,09	10	0,22
Vila do Conde	375,32	64	0,68
Santo Tirso	19,14	10	0,46
Trofa	23,97	3	0,80

Os MPCAm possibilitam uma maior aproximação à realidade e melhor verificação do impacto da sazonalidade, que é mais evidente nos consumos de água dos municípios do litoral. Principalmente os MPCAm de Póvoa de Varzim e Esposende acompanham o aumento acentuado dos consumos de água na estação do verão. Os MPCAm dos restantes municípios também revelam estas oscilações mas de forma mais uniformizada e atenuada.

Os MPCAm de Póvoa de Varzim sobrestimam os consumos de água somente a partir do mês de maio. Durante o inverno e primavera de 2013, os volumes de água consumidos foram superiores aos expectáveis pelo modelo.

Em Esposende, Trofa e V. N. de Famalicão, os consumos de água registados durante os meses de verão excederam as expectativas dos respetivos MPCAm. Na Trofa, o MPCAm traduz quase perfeitamente os consumos de água nos restantes meses do ano. Já o MPCAm de Esposende apesar de se aproximar bastante dos registos de inverno, sobrestima os valores dos consumos de água na primavera e no outono.

Os consumos de água ocorridos em 2013, nos municípios de Barcelos e Vila do Conde, ficaram aquém do que seria esperado pelo MPCAm. Contrariamente, o MPCAm de Santo Tirso resultou numa subestimação dos consumos de água ao longo de todo o período de validação.

Comparativamente com os MPCAd, os MPCAm apresentam, em média, uma percentagem de erro inferior, na ordem dos 11 % do consumo médio anual de água. O MPCAm do município da Trofa apresenta uma maior proximidade entre os consumos registados e estimados, com uma taxa de erro de 3 %. Contrariamente, Vila do Conde demonstra a maior discrepância com uma taxa de erro de 64 %.

O coeficiente de correlação médio entre os MPCAm é de 0,63, representando um nível de estimativa moderado, superior ao dos MPCAd. Em média, mais de 51 % dos valores de consumos médios projetados aproximam-se da realidade.

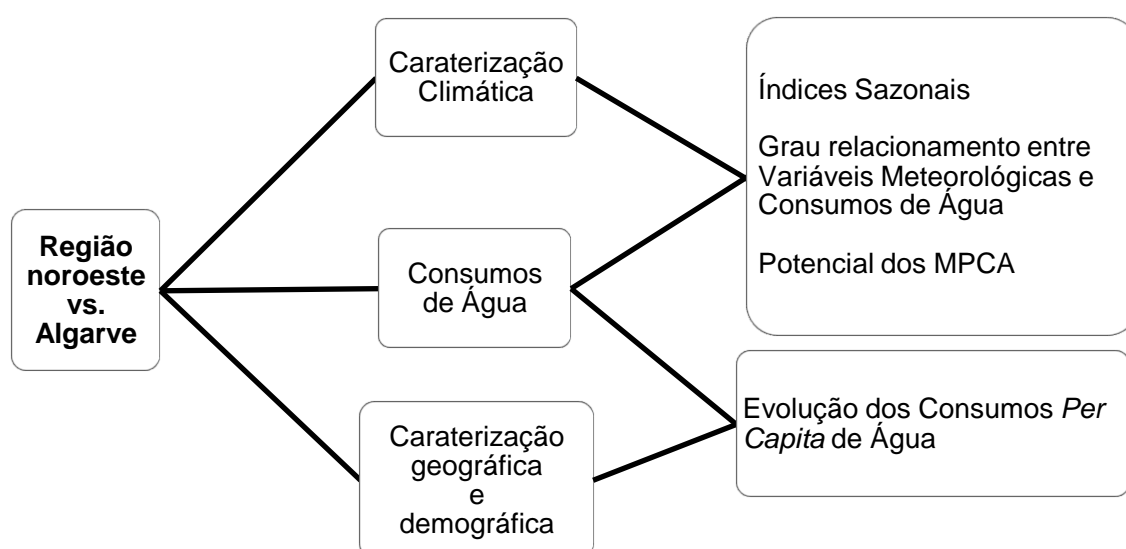
À semelhança dos MPCAd, o MPCAm de Esposende apresenta maior potencial de projeção, ao contrário do MPCAm de V. N. de Famalicão, com a menor capacidade de estimação de consumos médios mensais de água.



## 7 ESTUDO COMPARATIVO COM REGIÃO DE CLIMA MEDITERRÂNICO

Como já referido anteriormente, a influência das variáveis meteorológicas nos consumos de água foi alvo de investigação por parte de Costa (2012), cujo estudo incidiu na região do Algarve. As técnicas estatísticas e os métodos de projeção e de avaliação realizados em ambos os trabalhos foram semelhantes.

Estas circunstâncias motivam a realização de uma análise comparativa entre ambas as regiões, no que concerne à caracterização climática, comportamento dos consumos de água, evolução das capitações, grau de relacionamento entre consumos de água e variáveis meteorológicas, índices sazonais e potencial de projeção dos modelos de regressão desenvolvidos, tal como esquematizado na Figura 7.1.



**Figura 7.1** Esquematização da análise comparativa entre regiões de sub-climas distintos

### 7.1 Características Climáticas

As variações climáticas existentes entre as regiões portuguesas devem-se, sobretudo, às influências do Oceano Atlântico, do Mar Mediterrânico e do território continental.

O Algarve é influenciado pelas características continentais do Alentejo e de Espanha, e marítimas, provenientes do oceano Atlântico. O clima no Algarve é caracterizado por temperaturas suaves, teores de humidade elevados devido à exposição marítima e raras

precipitações que tornam o período seco mais longo do que no restante território (Costa, 2012).

A região do Algarve é dividida em duas sub-regiões com sub-climas distintos. A sub-região do barlavento apresenta um sub-clima temperado com chuvas de inverno e verões temperados (sub-clima Csb) e a sub-região do sotavento distingue-se por verões mais quentes, influenciado por características mediterrânicas e africanas (sub-clima Csa) (Costa, 2012).

Apesar da região noroeste e do barlavento algarvio prescindirem da mesma classificação climática, o norte exhibe temperaturas mais baixas, ventos mais fortes e estações mais chuvosas e frescas, resultantes da variação de latitudes e longitudes. Este conjunto de diferenças climáticas terá interesse do ponto de vista da influência meteorológica nos consumos de água das populações em ambas as regiões do país.

O estudo de Costa (2012) incidiu num conjunto de oito municípios, baseado nas características climáticas causadoras de maior impacto nos comportamentos dos consumos de água: Aljezur, Portimão, Silves e Albufeira a barlavento; Loulé, Faro, Tavira e Alcoutim a sotavento. Alcoutim não prescinde de zona costeira. Portimão, Albufeira e Faro são as localidades com menor área geográfica e mais influenciadas pela costa. Aljezur, Silves, Loulé e Tavira são os municípios mais extensos e influenciados, simultaneamente, pela zona costeira e interior.

Costa (2012) analisou a variação meteorológica num intervalo de tempo compreendido entre janeiro de 2002 e dezembro de 2007. Apesar de não ser coincidente com o período amostral utilizado neste presente estudo da região noroeste, permite comparar ambas as regiões em termos climáticos.

Em ambas as regiões verifica-se uma evolução uniforme dos valores de temperatura, no decurso dos períodos amostrais respetivos. Os registos provenientes das PWS do noroeste refletem que não há diferenças térmicas significativas entre municípios do litoral, como a Trofa e Leça da Palmeira, e do interior, como Braga Guimarães e Melgaço. De igual forma, Costa (2012) afirma que apenas a amplitude térmica nas localidades a sotavento é um pouco superior às de barlavento, pelo que, não há disparidades entre as evoluções de temperatura entre os municípios do Algarve.



Relativamente à variabilidade das temperaturas, esta é menor nas estações da primavera e outono em ambas as regiões. Para além disso, também ambos os locais apresentam uma acentuada sazonalidade que permite distinguir as estações do ano. Nos meses de verão registam-se temperaturas máximas de 27 °C, no noroeste, e temperaturas entre 30 °C a 32 °C, no Algarve. No inverno, as temperaturas mínimas atingem os 5 °C e os 6 °C, com respeito ao noroeste e ao Algarve.

Tal como acontece com a temperatura, a variação do teor de humidade traduz efeitos sazonais em ambas as regiões. No noroeste, a humidade varia entre 87 % e 99 %, no inverno e entre 46 % a 54 %, no verão. No Algarve, a humidade varia entre 89% e 95 % no inverno. Contudo, no verão, distingue-se o barlavento com valores de humidade mais elevados (entre 38 % e 42 %) e registos inferiores relativos a sotavento (entre 32 % e 37 %). Os verões são mais amenos a barlavento. Contudo, o clima no norte prevalece como sendo o mais húmido, entre ambas as regiões.

No respeitante à precipitação, este é o parâmetro meteorológico mais aleatório, sendo mais propícia a sua ocorrência entre outubro e fevereiro. Em termos médios mensais, o número de ocorrências de precipitação é superior no noroeste. No verão, o número de ocorrências de precipitação médio mensal é não superior a 5 nesta região, enquanto que no Algarve a influência do clima mediterrânico proporciona a ausência de precipitação.

A norte, a intensidade de precipitação é inferior a 2,0 mm e na região algarvia, cerca de 3/4 dos valores de intensidade de precipitação são inferiores a 3,0 mm (Costa, 2012). Contudo, há ocorrências de precipitação ocasionais que superam os 3,0 mm e os 6,0 mm, respetivamente no sul e no noroeste.

## **7.2 Características geográficas e demográficas**

A fim de compreender a grandeza dos volumes de água consumidos no Algarve e no noroeste é essencial conhecer a população abastecida e as respetivas áreas de abrangência.

Para além dos recenseamentos da população e habitação realizados em 2011, o Instituto Nacional de Estatística (INE) disponibiliza estimativas, por município, da população média anual residente, calculadas segundo a média entre o número de efetivos no final de dois anos consecutivos.

As estimativas populacionais relativas aos municípios do noroeste e do Algarve, em estudo, estão apresentados nas Tabela 7.1 e Tabela 7.2, respetivamente, para cada período amostral em causa.

**Tabela 7.1** Valor estimado da população média anual residente nos municípios do Noroeste (retirado de INE, 2014)

População média anual residente [hab]								
Ano	Póvoa de Varzim	Esposende	Barcelos	Vila Nova de Famalicão	Vila do Conde	Santo Tirso	Trofa	Total Anual
2008	63851	34289	121739	133344	78668	72434	38893	543217
2009	63719	34327	121325	133651	79051	72157	38961	543190
2010	63579	34315	120787	133849	79411	71813	39015	542767
2011	63494	34330	120487	134054	79723	71532	39022	542640
2012	63393	34329	120300	134090	79836	71224	38927	542097
2013	63141	34268	119824	133843	79774	70737	38743	540328

**Tabela 7.2** Valor estimado da população média anual residente nos municípios do Algarve (retirado de INE, 2014)

População média anual residente [hab]									
Ano	Albufeira	Alcoutim	Aljezur	Faro	Loulé	Portimão	Silves	Tavira	Total Anual
2009	39377	3045	5798	63721	68946	54058	36642	26055	297641
2010	40328	2968	5865	64316	70099	55128	36993	26168	301863
2011	40828	2917	5884	64560	70622	55614	37126	26167	303718

Nos últimos 6 anos, os municípios do noroeste têm sofrido, em média, um decréscimo populacional pouco significativo. Contrariamente, nas localidades algarvias verifica-se um crescimento populacional progressivo de ano para ano. Contudo constata-se que a população dos 8 municípios algarvios corresponde, em valores médios, a 55 % da população do noroeste.

A norte, os municípios mais populosos são Vila Nova de Famalicão, Barcelos, Vila do Conde e Santo Tirso. Os restantes municípios apresentam menor número de habitantes, tendo Esposende somente 25 % do número de habitantes de Vila Nova de Famalicão. No sul, Loulé, Faro e Portimão exibem maior número de habitantes, seguidos de Albufeira, Silves e Tavira. Em Aljezur e Alcoutim, a população é inferior aos restantes municípios, representando respetivamente 8 % e 4 % da população de Loulé.

Os valores correspondentes à área geográfica de cada município, apresentados na Tabela 7.3, foram obtidos com recurso às fontes estatísticas das câmaras municipais respetivas.

A área de abrangência dos municípios algarvios é 2,5 vezes superior à do noroeste. Isto traduz uma menor densidade populacional (um menor número de habitantes por unidade de área) e uma maior irregularidade na distribuição da população comparativamente à região norte. No Algarve, destacam-se os municípios de Albufeira, Faro e Portimão e no noroeste, Póvoa de Varzim e Vila Nova de Famalicão, como sendo os maiores focos de concentração populacional.

**Tabela 7.3** Área geográfica dos municípios em estudo

Município	Área geográfica (km <sup>2</sup> )	Área total por região (km <sup>2</sup> )
Esposende	95,41	1116,03
Vila do Conde	149,30	
Barcelos	378,90	
Santo Tirso	136,6	
Póvoa de Varzim	82,21	
Vila Nova de Famalicão	201,59	
Trofa	72,02	
Albufeira	141,72	2765,79
Alcoutim	579,01	
Aljezur	324,02	
Faro	202,51	
Loulé	765,66	
Portimão	182,36	
Silves	682,35	
Tavira	608,89	

### 7.3 Consumos de Água Municipais

Costa (2012) estudou o comportamento dos volumes de água consumidos com base em registos facultados pela empresa concessionária do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve: Águas do Algarve S.A. Os valores de consumos de água são medidos nos vários pontos de entrega, que se encontram distribuídos pelos oito municípios algarvios selecionados pelo autor.

Uma vez que estes registos correspondem à abrangência total dos municípios, são confrontados com os volumes de água medidos na totalidade das saídas dos reservatórios do domínio do SAV. Apenas uma amostra de volumes de água relativos a um reservatório por município não permite obter conclusões sobre a variação dos consumos de água em ambas as regiões portuguesas. Portanto, a análise comparativa aborda os registos médios mensais de volumes de água entregues por cada uma das concessionárias às respetivas localidades.

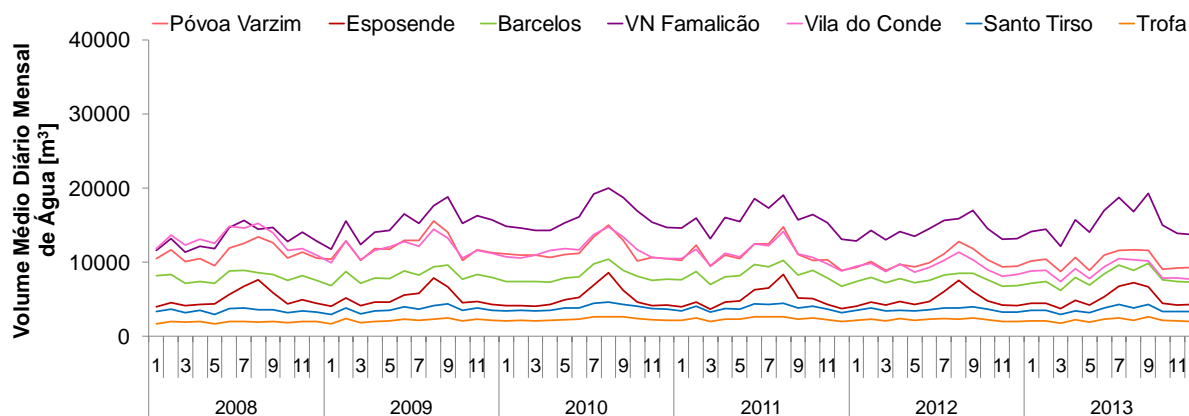
O centro operacional do SAV disponibilizou valores correspondentes aos volumes de água entregues, por reservatório, a cada um dos municípios do noroeste. Estes registos correspondem a utilizações de água domésticas, públicas, comerciais, administrativas, industriais, de serviços e outras práticas municipais como a lavagem de ruas ou rega de campos e jardins.

Os volumes de água consumidos resultam de uma diferença entre a quantidade de água fornecida pelos reservatórios e uma ponderação relativa às perdas de água na rede de distribuição. A taxa de perdas tem em consideração os volumes de água consumidos em situações esporádicas e autorizadas, como no combate a incêndios, e não autorizadas, como o recurso a ligações clandestinas. De acordo com o centro operacional do SAV, é admitida uma ponderação de perdas de água na rede de 20 %, aplicável a todos os municípios do noroeste em estudo.

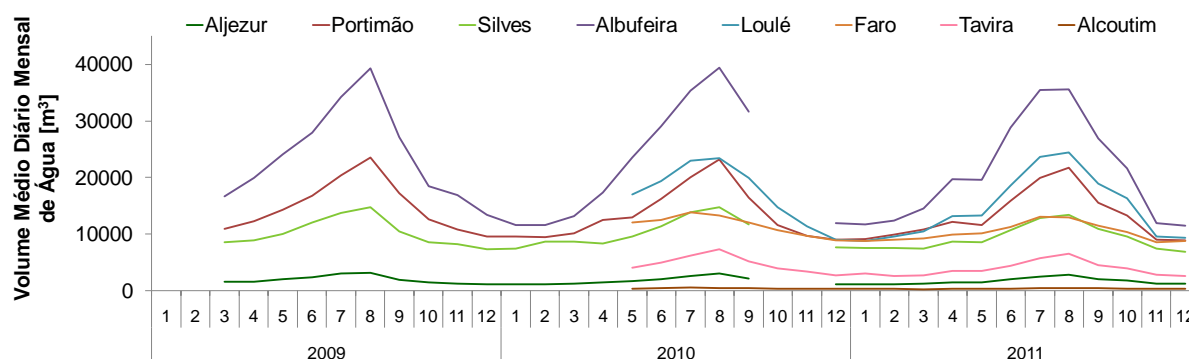
O Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal - RASARP (ERSAR, 2012) informa sobre a ponderação dos volumes de água não faturados, relativamente à quantidade de água que entra na rede de abastecimento. Em média, o nível de perdas de água indicado no relatório é de 33 %, relativo aos municípios algarvios em estudo. De acordo com o último estudo efetuado, a direção de operação da Águas do Algarve confirmou uma estimativa média de perdas totais de água de 28 %. Desta forma, pressupôs-se a aplicação de uma taxa global média de perdas de água de 30 % em todos os municípios algarvios.

Como resultado do estudo que acompanha a presente dissertação e da análise realizada por Costa (2012) à região algarvia, obtêm-se as séries de volumes de água consumidos pelas localidades do noroeste, entre 2008 e 2013, e pelos municípios do Algarve, de 2009 a 2011. As respetivas evoluções cronológicas são apresentadas nas Figura 7.2 e Figura 7.3.

Numa avaliação dos cronogramas respetivos ao noroeste, pode-se aferir que os consumos mais elevados rondam os 20.000 m<sup>3</sup>, correspondentes às exigências de água na época de verão do município de Vila Nova de Famalicão. Sendo esta a localidade com maior densidade populacional, aliada à forte atividade industrial e agrícola, justifica-se a elevada quantidade de água consumida em comparação com os restantes municípios.



**Figura 7.2** Evolução dos volumes médios diários mensais de água dos municípios do noroeste



**Figura 7.3** Evolução dos volumes médios diários mensais de água dos municípios algarvios

As variações de volumes de água de Vila do Conde, Póvoa de Varzim e Esposende seguem tendências idênticas. No entanto, nas duas primeiras localidades os volumes variam entre os 7.500 e 15.500 m<sup>3</sup> e em Esposende entre 3.600 e 8.600 m<sup>3</sup>. Como esta última cidade detém o menor número de habitantes, demonstra uma maior necessidade de água para consumo, por pessoa.

Uma vez que os cronogramas de Vila do Conde e da Póvoa de Varzim são quase coincidentes e que a área e a população de Vila do Conde são 1,80 e 1,26 vezes superiores às da Póvoa de Varzim, conclui-se que este último município requer volumes de água, por habitante, superiores aos de Vila do Conde.

Santo Tirso e Trofa requerem volumes de água entre 1600 e 4600 m<sup>3</sup>, representando a gama de consumos de água mais baixos da região noroeste.

A partir do cronograma de volumes de água da Figura 7.3, verifica-se que os consumos mais elevados pertencem a Albufeira (11.500 - 40.000 m<sup>3</sup>), Portimão (9.300 - 23.550 m<sup>3</sup>) e Loulé

(8.700 - 24.000 m<sup>3</sup>), sendo Albufeira o município com maior amplitude anual de volumes de água requeridos.

Portimão e Albufeira são os centros de maior atração populacional e turística devido à sua localização no litoral. Loulé apresenta a maior área geográfica das localidades algarvias em estudo. Contrariamente, Alcoutim, com o menor número de habitantes, apresenta os consumos de água mais baixos.

Numa análise a ambas as regiões do país, é perceptível a discrepância entre os volumes de água consumidos. Aljezur e Trofa apresentam consumos entre 1000 e 3000 m<sup>3</sup>. Sendo a população de Aljezur equivalente a 15 % da população da Trofa, demonstra um maior consumo por habitante em Aljezur.

Tavira, Esposende e Santo Tirso requerem volumes de água entre 2600-8600 m<sup>3</sup>. Como a população das duas primeiras localidades representam apenas 37 % e 48 % da população de Santo Tirso, constata-se que o consumo de água por cada habitante desta última cidade é bastante inferior, comparativamente com as restantes.

Em Barcelos, Faro, Silves, Vila do Conde e Póvoa de Varzim, os consumos rondam os 6.000 e 15.500 m<sup>3</sup>. Barcelos apresenta o menor consumo de água por habitante, uma vez que a população das restantes localidades representa entre 30 a 60 % da população da mesma.

Os consumos de água de Portimão, Loulé e Vila Nova de Famalicão estão entre 9.000 m<sup>3</sup> e 24.000 m<sup>3</sup>. Embora a população de Vila Nova de Famalicão seja 2 a 3 vezes superior à das localidades algarvias com maiores consumos de água (Albufeira, Portimão e Loulé), os volumes de água consumidos pelas mesmas conseguem ser 1,64 vezes superiores aos de Vila Nova de Famalicão.

Em Albufeira, Loulé, Aljezur, Portimão e Tavira verifica-se, nos meses de verão, um aumento médio dos consumos de água de 131 %, 122 %, 111 %, 99 % e 95 %, respetivamente, em comparação com os meses entre novembro e fevereiro. Nos restantes municípios algarvios, como é perceptível pela uniformidade anual dos cronogramas de volumes de água, este aumento não é tão marcante, correspondendo a menos de 50 % de diferença de consumos de água entre as duas estações.

Em contrapartida, o cronograma do noroeste permite distinguir uma tendência semelhante entre os consumos de água de Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Esposende. Principalmente nos meses de verão, os gráficos destas localidades seguem oscilações idênticas e comprovam a sua sensibilidade ao efeito da sazonalidade.

Os volumes de água requeridos por Barcelos e Vila Nova de Famalicão demonstram uma menor vulnerabilidade à alternância de estações do ano, ao passo que, na Trofa e em Santo Tirso, os consumos de água seguem tendências bastante uniformes e monótonas ao longo dos anos.

A maior variação entre consumos de água no verão e no inverno é de 49 %, correspondente a Esposende. Nas restantes localidades, os consumos de água no verão apenas excedem os de inverno em menos de 20 %. O menor efeito sazonal verifica-se em Santo Tirso e na Trofa, com variações de consumos de água entre estações de 14 % e 12 %, respetivamente.

Nos municípios a barlavento, em Aljezur, Portimão e Silves, os volumes de água requeridos aos sábados e domingos superam em 3 % os dos dias de semana. No noroeste, os consumos de água aos sábados são, em média, 10 % superiores aos dos dias de semana, havendo uma ligeira diminuição aos domingos. Este facto mostra a diferença de atividades quotidianas das populações pertencentes a ambas as regiões. Para além disso, evidencia o contraste de consumos de água praticados ao longo dos dias da semana, nos municípios do noroeste.

#### **7.4 Evolução dos Consumos *Per Capita* de Água**

Relativamente a este tópico, convém começar por salientar que a capitação de água ou o consumo *per capita* é o volume de água diário requerido por cada habitante, expresso em L/hab/dia. Este indicador é condicionado pelas características da população, do clima, pelas atividades desenvolvidas na região e qualidade dos sistemas de abastecimento e saneamento básico existentes. (Neto, 2003).

Com vista à superação das necessidades domésticas e públicas de água, as capitações são parâmetros utilizados como referências de base para o dimensionamento e exploração de sistemas de abastecimento de água. A dificuldade na obtenção de dados de consumos de água fidedignos conduz à adoção de valores de capitações provenientes da literatura, baseados em padrões de consumo análogos (Neto, 2003; Matos, 2007).

De acordo com o artigo 13º do Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, as captações domésticas, na rede de distribuição domiciliária, não devem ser inferiores aos valores apresentados na Tabela 7.4. Para além disso, os consumos públicos, comerciais e de serviços podem ser incluídos nos valores de captação global.

**Tabela 7.4** Valores de captação doméstica de água mínimos admissíveis (Dec. Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto)

Captação mínima admissível [L/hab/dia]	Número de habitantes [hab]
80,0	Até 1000
100,0	Entre 1000 e 10.000
125,0	Entre 10.000 e 20.000
150,0	Entre 20.000 e 50.000
175,0	Superior a 50.000

Como referido anteriormente, os consumos de água na época de verão sofrem um acréscimo tão acentuado quanto maior for a atração turística e a população flutuante. O estudo dos consumos *per capita* requer o conhecimento da população abastecida, que inclui os habitantes residentes e flutuantes, consumidores de água ao longo do ano.

De forma a tornar os resultados o mais fidedignos possível, é essencial compreender qual a taxa de aumento populacional aplicável na época de maior flutuação (ou seja, entre os meses de junho e Setembro). No portal do INE são disponibilizadas as proporções de alojamentos familiares clássicos de uso sazonal, por município, à data dos últimos recenseamentos (2011). Estas referências são apresentadas seguidamente, na Tabela 7.5 e permitem calcular a população flutuante em cada município de forma aproximada.

As taxas de flutuação sazonal informam acerca da movimentação populacional na globalidade dos municípios, não distinguindo as freguesias rurais ou urbanas. Para além disso, desprezam a forte influência dos sistemas de rega nos volumes de água requeridos, com início no mês de maio. As ponderações apresentadas podem estar inflacionadas devido à margem de erro dos dados fornecidos ao INE e à valorização turística atribuída a cada município. Contudo, são valores ajustados e os mais indicados para uma análise média dos consumos de água, por habitante.



**Tabela 7.5** Proporção de alojamentos familiares clássicos de uso sazonal por município (INE, 2011)

Região	Município	Proporção de uso sazonal [%]
noroeste	Barcelos	11,02
	Esposende	41,41
	Póvoa de Varzim	28,31
	Santo Tirso	7,88
	Trofa	5,51
	Vila do Conde	20,61
	Vila Nova de Famalicão	9,54
Algarve	Albufeira	50,24
	Alcoutim	48,46
	Aljezur	44,19
	Faro	15,30
	Loulé	43,65
	Portimão	41,44
	Silves	41,39
	Tavira	44,37

Visivelmente, os municípios algarvios apresentam uma taxa de população flutuante bastante maior do que a do noroeste. O norte consegue oferecer diversas alternativas turísticas, nomeadamente as paisagens rurais e urbanas, património histórico de interesse, infraestruturas culturais e gastronomia convidativas, que atraem maioritariamente população de outras regiões portuguesas.

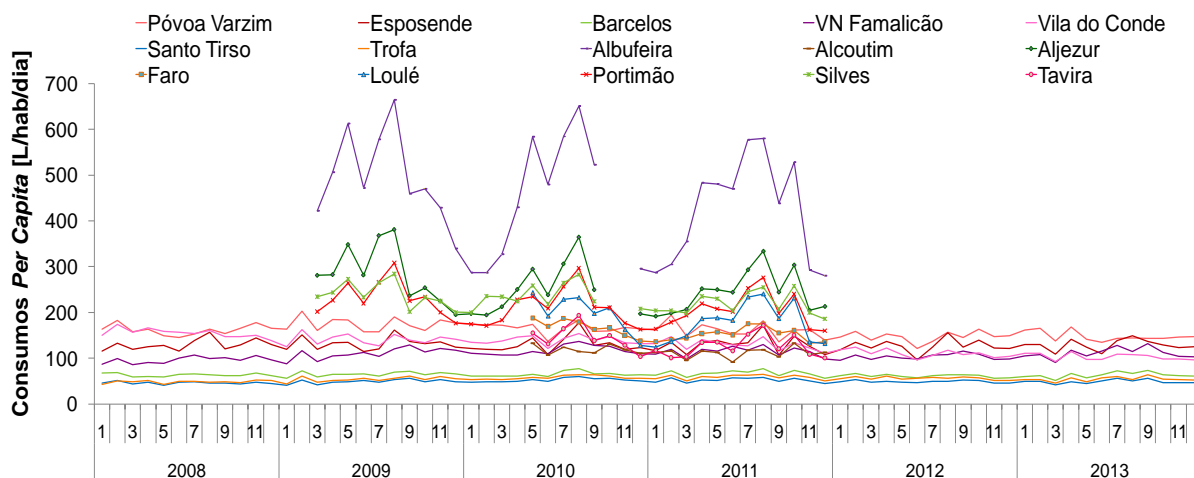
No entanto, o Algarve beneficia de uma costa prestigiosa e ofertas hoteleira, cultural e social qualificadas que, em conjunto com um clima temperado de verões secos, atraem mais população portuguesa e estrangeira do que o norte do país.

Vejamos agora a evolução mensal dos consumos *per capita* de água, dos municípios em estudo, que é apresentada no cronograma da Figura 7.4. A título explanatório, convém recordar que os consumos *per capita* de água resultam da razão entre os volumes médios diários mensais de água para consumo e a população média diária anual, relativos a cada município.

Como constatado na análise da densidade populacional de cada município e respetivos consumos médios diários de água, comprova-se através da Figura 7.4. que as capitações de água dos municípios algarvios são bastante superiores às do noroeste.

Os consumos *per capita* dos municípios do Algarve e do noroeste são, em média, 223,68 e 98,36 L/hab/dia. Por outras palavras, a capitação média de água verificada na região do

Algarve é 2,3 vezes superior à do noroeste, o que vem comprovar a tendência já verificada anteriormente acerca dos hábitos de consumo de água para esta região.



**Figura 7.4** Consumos *per capita* de água nos municípios do Algarve e do noroeste

Para melhor compreender as diferenças entre o norte e o sul em termos de capitações médias de água a nível municipal e regional, são apresentados em síntese, na Tabela 7.6 esses mesmos valores.

No sul, Albufeira destaca-se com uma capitação média diária bastante superior. Correspondendo a cerca de metade do valor de capitação média diária de Albufeira, seguem-se as capitações de Aljezur, Silves e Portimão. Alcoutim apresenta o menor valor de consumo de água por habitante, sendo ainda superior à capitação média diária de água na região noroeste.

No noroeste, os consumos *per capita* médios diários, nos meses de verão, diferem apenas de 1 L/hab/dia, das capitações médias diárias anuais. No Algarve, em Silves, Faro e Tavira, as capitações médias de água superam as médias diárias anuais em cerca de 10 a 15 L/hab/dia no verão. Em Aljezur, Portimão, Loulé e, principalmente, Albufeira, esse aumento é mais acentuado, desde 30 a 87 L/hab/dia. Excecionalmente, o consumo *per capita* de água em Alcoutim tende a diminuir no verão, face às capitações médias diárias anuais.

Tal como se pode verificar, no noroeste as capitações de água mais elevadas pertencem aos municípios de Póvoa do Varzim, Vila do Conde, Esposende e Vila Nova de Famalicão.

**Tabela 7.6** Capitações médias diárias de água a nível municipal e regional

Capitação Média Regional [L/hab/dia]	Município	Capitação Média Municipal [L/hab/dia]
98,36	Barcelos	64,15
	Esposende	129,40
	Póvoa de Varzim	159,26
	Santo Tirso	49,49
	Trofa	54,85
	Vila do Conde	129,76
	V. N. Famalicão	108,82
223,68	Albufeira	646,57
	Alcoutim	163,22
	Aljezur	369,93
	Faro	225,45
	Loulé	265,83
	Portimão	306,34
	Silves	329,00
	Tavira	191,08

Uma vez que a região norte apresenta entre 34.000 e 134.000 habitantes por município, à luz do Dec. Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto, as capitações de água devem ser superiores a 150 L/hab/dia. Tendo em conta este pressuposto, apenas os municípios da Trofa e Esposende poderiam apresentar capitações de água inferiores a 175 L/hab/dia.

No entanto, o que se verifica é que até ao ano de 2010, apenas Póvoa de Varzim e Vila do Conde apresentam um consumo de água por habitante, superior a 150 L/hab/dia. A partir desse ano, somente as capitações de Esposende (durantes os meses de agosto) e da Póvoa de Varzim se encontram, maioritariamente, acima desse valor.

Posto isto, tendo em conta os valores da Tabela 7.4 e os consumos *per capita* médios diários de cada município do noroeste, pressupõe-se que os limites mínimos de capitação de água admitidos pela legislação portuguesa são obsoletos e pouco aplicáveis no enquadramento atual.

As capitações médias diárias de água, calculadas para cada município, incluem utilizações de água para fins domésticos, públicos, comerciais, sociais, de serviço, entre outros. Os limites mínimos definidos no decreto regulamentar integram somente utilizações domésticas de água, pelo que, são excessivamente aplicados no contexto do quotidiano da região noroeste.

As capitações domésticas de água relativas a Póvoa de Varzim excluem uma percentagem considerável atribuída a sistemas de rega e manutenções públicas, resultando em valores

bastante inferiores aos apresentados na Figura 7.4. Daí que a legislação também não seja aplicável à conjuntura atual expressa por esta localidade.

Por conseguinte, num cenário de total adesão por parte da população do noroeste, o sistema abastecimento de água encontra-se sobredimensionado, o que se torna desvantajoso do ponto de vista da gestão da água. Se os sistemas de abastecimento suportam uma capacidade muito superior à que realmente é consumida, implica um aumento significativo de custos de construção e de manutenção.

Não obstante, a taxa de adesão à rede de abastecimento de água na região norte fica abaixo dos 80 % (Silva, 2008), o que estará diretamente relacionado com a elevada disponibilidade de água nesta zona do país. Embora os sistemas de abastecimento estejam preparados para satisfazer as necessidades da população, grande parte da mesma prefere agir autonomamente e utilizar captações de água subterrâneas particulares. A falta de utilização da rede de abastecimento resulta na não concretização de lucros por parte das empresas concessionárias, no incremento de tarifas por consumidor e, conseqüentemente, numa maior queda de adesão à rede.

Acresce ainda que, segundo os valores da Tabela 7.4, as captações mínimas exigidas de água são de 100 L/hab/dia para os municípios de Alcoutim e de Aljezur, 150 L/hab/dia para Albufeira, Silves e Tavira e 175 L/hab/dia para Faro, Loulé e Portimão.

Os consumos *per capita* dos municípios de Faro e Tavira são inferiores ao admissível, bem como, as captações de Loulé e Portimão nos meses de inverno. Tal como acontece para a generalidade da região noroeste, os indicadores utilizados na conceção e dimensionamento de sistemas de abastecimento destas localidades algarvias poderão estar ligeiramente sobrestimados.

Por outro lado, as captações de água em Portimão, Silves, Aljezur e Albufeira ultrapassam, em média, os 200 L/hab/dia. Em Aljezur e Albufeira superam respetivamente, os 300 e 665 L/hab/dia, apenas nos meses de julho e agosto.

No entanto, apesar do aumento populacional verificado nestes municípios especialmente na época alta, deve ter-se em conta alguns fatores que poderão estar relacionados com as elevadas captações de água. Os resultados podem dever-se a consumos abusivos por parte da população nas tarefas diárias, ou a elevadas perdas ou fugas de água no sistema. Estas causas

propiciam o aumento dos custos de exploração da rede, o desaproveitamento de recursos naturais e de energia elétrica, a sobrecarga dos equipamentos existentes e, conseqüentemente, o incremento da faturação da água paga pelos consumidores.

## 7.5 Grau de Relacionamento entre Variáveis

No respeitante à importância da meteorologia nos consumos de água, Costa (2012) desenvolveu uma análise correlacional entre as variáveis meteorológicas e os volumes de água consumidos nos municípios algarvios. Desta forma, é possível realizar uma análise comparativa e tirar ilações sobre o impacto da meteorologia nos consumos de água nas diferentes regiões do país.

Como constatado pela investigação desenvolvida, o grau de relacionamento entre a generalidade das variáveis meteorológicas e os consumos de água nos municípios do noroeste é moderado. Os coeficientes de correlação diários variam entre 0,20 e 0,73. Numa perspetiva mensal, os mesmos parâmetros são um pouco superiores, entre 0,20 e 0,82, traduzindo uma aproximação mais forte entre as variáveis.

A situação é diferente no que concerne aos municípios algarvios. O grau de relacionamento é maioritariamente forte, com coeficientes de correlação diários entre 0,30 e 0,94 e mensais entre 0,54 e 0,90.

No sentido decrescente, o impacto da variação da meteorologia nos consumos de água faz-se sentir com maior intensidade nos municípios de Esposende, Famalicão, Trofa e Póvoa de Varzim, no noroeste, e em Loulé, Albufeira, Tavira e Silves, no Algarve. A influência meteorológica é notoriamente superior nos municípios do litoral ou nas localidades com maior número de habitantes, maior taxa de flutuação sazonal ou superfície geográfica mais vasta.

Já os parâmetros relativos à humidade e precipitação são os que apresentam uma associação menos forte com os consumos de água no noroeste e no Algarve. Contrariamente, a temperatura é a variável meteorológica com maior influência nos consumos em ambas as regiões.

Nos municípios do litoral norte, basta chover mais do que 5 dias por mês, em média, para que os consumos diminuam drasticamente. Já nas localidades interiores, os consumos de água são

somente prejudicados se ocorrem precipitação em mais do que 7 a 9 dias por mês. Tal como demonstrado por Costa (2012), no barlavento algarvio isto apenas acontece se chover entre 6 a 9 dias por mês. Já no sotavento, esse valor varia entre 10 a 11 dias mensais.

Em Esposende há uma redução máxima de 20 % nos consumos de água, no caso de ocorrer precipitação. Nos restantes municípios do noroeste, essa redução é inferior, variando entre 7 % a 11 %. De acordo com os dados apresentados por Costa (2012), as localidades da região central do Algarve (Albufeira, Silves e Loulé) sofrem um decréscimo médio de 3 % por cada ocorrência de precipitação.

Por outro lado, os consumos de água atingem os valores mínimos se em mais de 13, 18 e 15 dias por mês, ocorrer precipitação na região noroeste, no barlavento e no sotavento, respetivamente. Daqui se detém que o litoral norte é a região cuja alteração dos consumos de água é mais sensível, em função do número de ocorrências de precipitação mensal. Já no sotavento algarvio, os consumos de água mantêm-se elevados ao longo de várias ocorrências de precipitação.

## **7.6 Analogia Entre os Modelos de Projeção de Consumos de água**

Para finalizar o estudo comparativo entre as regiões do noroeste e do Algarve, resta contrastar os MPCA desenvolvidos em ambas as investigações.

A análise comparativa é baseada nos coeficientes de determinação resultantes dos modelos de projeção e da avaliação da estimativa proporcionada pelos mesmos. Na sua generalidade, os MPCA revelam-se significativos e permitem explicar satisfatoriamente a variação dos consumos de água.

Para ambas as regiões depreende-se que os respetivos MPCAm são capazes de traduzir o comportamento dos consumos de água de forma mais ajustada, comparativamente aos MPCA numa perspetiva diária. Entre uma base de registos diários e mensais, o poder de projeção dos MPCA aumenta cerca de 30 % e 17 %, respetivamente para o noroeste e para o Algarve.

Os MPCA do Algarve geraram resultados mais próximos das estimativas e dos valores de consumos de água observados, comparativamente com os MPCA desenvolvidos para o noroeste. Tal como afirmado por Costa (2012), com um potencial de projeção médio de 95 %,

os MPCA do Algarve permitem alcançar valores de consumos de água fidedignos e estreitamente próximos da realidade.

Já os MPCA do noroeste apresentam uma capacidade de projeção média de 65 %, valor inferior relativamente aos MPCA do Algarve, contudo bastante aceitável. Daí que, recorrendo à variação meteorológica, os MPCA aplicados à região do Algarve alcançam projeções legítimas e mais credíveis do que os MPCA do noroeste.

Costa (2012) afirma também que os MPCA do Algarve são, na sua generalidade, ligeiramente sobrestimados, remetendo para valores de consumos de água superiores às observações reais. Contrariamente, os MPCA do noroeste apresentam, de forma geral, uma subestimação dos consumos de água nas estações de verão e inverno e sobrestimação ou aproximação nos restantes meses do ano.

No entanto, em ambas as regiões os MPCA traduzem os efeitos sazonais sobre os consumos de água, proporcionados pela transição das estações do ano. Estas flutuações são mais evidentes nos municípios algarvios e nas localidades do litoral norte.

No respeitante à avaliação dos MPCA, ambos os estudos revelam problemas de eficiência dos coeficientes estimados. Os sinais dos coeficientes de regressão, relativos à humidade e precipitação, mostram-se contraditórios face às conclusões retiradas das regressões simples.

Para além disso, em ambos os casos de estudo os MPCA revelam autocorrelação residual e dependência linear entre variáveis explicativas (multicolinearidade). Uma vez que os estudos se basearam nos mesmos parâmetros meteorológicos, retém-se que uma maior estabilidade seria obtida para uma parametrização menos complexa das variáveis explicativas. Outro tipo de abordagem reside na inclusão de diferentes parâmetros com forte influência sobre os consumos de água.





## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 8.1 Conclusões

O trabalho realizado durante a unidade curricular de Projeto e que deu origem a esta dissertação de Mestrado, veio enriquecer uma temática pouco incrementada por parte das entidades gestoras dos recursos hídricos em Portugal. Os modelos de projeção de consumos de água são uma mais-valia na tomada de decisões, na planificação e no controlo das redes de distribuição de água para abastecimento. Face ao impacto das alterações climáticas e frequentes desastres naturais, o conhecimento das necessidades de água, segundo a variação meteorológica, faculta uma maior margem de atuação e prevenção contra efeitos mais graves.

O presente trabalho cumpriu aquilo a que se propôs: possibilitou o desenvolvimento de modelos de projeção de consumos de água da região noroeste, com base em variáveis meteorológicas, e finalizou com uma análise comparativa e pertinente, sobre um estudo semelhante mas incidente numa região climática distinta.

A investigação incidiu sobre uma amostra de 8 municípios da região noroeste, a partir dos quais foi possível retirar ilações no respeitante ao comportamento dos consumos de água.

Foi possível concluir que a componente sazonal dos consumos de água provoca um aumento dos mesmos na época de verão e uma diminuição no inverno.

No que toca ao litoral, a sazonalidade é traduzida por índices sazonais que apontam os municípios de Esposende e Vila do Conde como os mais suscetíveis à passagem das estações do ano e maiores valores de volumes de água consumidos. Sendo duas localidades do litoral e detentores de fortes atividades comercial e turística, provocadas pelo aumento da população flutuante nos meses de verão, proporciona-se um considerável aumento dos consumos de água. Convém também salientar que os registos do reservatório de Balazar não constituíram a amostra mais representativa do padrão de consumos de água do município de Póvoa de Varzim, uma vez que não demonstra os efeitos de periodicidade característicos desta localidade costeira.

Relativamente aos municípios do interior, a evolução das solicitações de água é mais regular, sendo mais constantes os índices sazonais e, conseqüentemente, menor o impacto da alteração das estações do ano sobre os volumes de água consumidos.

Do período amostral entre 2008 e 2013, o ano de 2010 revelou a maior diferença entre os consumos de água no verão e no inverno, aliado aos registos de temperaturas mais elevadas, teores de humidade mais baixos e menor número de ocorrências de precipitação.

Já no que diz respeito ao impacto do comportamento humano no consumo de água, é importante referir que nas localidades interiores (Barcelos, Vila Nova de Famalicão, Santo Tirso e Trofa) é notório um aumento significativo dos consumos de água aos sábados, ilustrativo do conjunto de atividades de limpeza, regas e de manutenções desempenhadas habitualmente pela população. Por outro lado, a diminuição dos volumes de água consumidos aos domingos demonstra ausência e deslocação dos habitantes dos seus locais de residência.

Detendo-nos agora sobre o impacto das variáveis meteorológicas (temperatura, humidade e precipitação) e segundo os coeficientes de correlação obtidos, retém-se que, na sua generalidade, as variáveis meteorológicas causam um impacto moderado sobre os consumos de água. De acordo com a análise bivariada realizada, a temperatura surge como a variável meteorológica que exerce maior influência na variação dos consumos de água.

A análise de correlações e graus de relacionamento entre as variáveis intervenientes revelam que, numa perspetiva diária ou mensal, os consumos de água crescem positivamente com o aumento dos valores dos três parâmetros de temperatura e tendem a diminuir com o aumento dos teores de humidade e da intensidade de precipitação.

Assim, as temperaturas máximas e mínimas correspondem, respetivamente, consumos máximos e mínimos de água. Já em relação aos parâmetros de humidade relativa e intensidade de precipitação verifica-se a situação inversa: consumos máximos de água correspondem a teores de humidade e intensidades de precipitação mínimos ou consumos mínimos de água estão relacionados com teores de humidade e intensidades de precipitação máximos.

Especificando as variáveis, verificam-se fortes associações entre os consumos de água e os parâmetros máximo de temperatura e médio de humidade relativa. Contrariamente, as relações menos fortes são constatadas para os parâmetros mínimo de temperatura e máximo de humidade relativa. Excepcionalmente, a intensidade de precipitação apresenta uma associação bastante mais fraca com os consumos de água, comparativamente com as restantes variáveis meteorológicas.

Centrando agora esta análise sobre a precipitação numa visão diária, conclui-se que a vulnerabilidade face à ocorrência de precipitação é superior no município de Esposende, causando uma redução de 20 % nos consumos médios diários de água. Sendo litoral, basta

ocorrer precipitação para que a prática de atividades utilizadoras de água diminua. Pelo contrário, em Santo Tirso e na Trofa os consumos de água não sofrem uma diminuição significativa face ao evento de precipitação pois as atividades desenvolvidas não diferem consideravelmente, caso a haja ou não.

Já numa perspetiva mensal, a força da associação e o poder explicativo das variáveis meteorológicas sobre os consumos de água é superior. Na generalidade dos municípios ocorre uma diminuição dos consumos de água com o aumento do número de precipitações mensal. Comprovando o impacto causado pela precipitação, verifica-se que os consumos mínimos de água são atingidos se ocorrer precipitação em 7 dias por mês (mínimo) para o caso de Esposende. Nos restantes municípios, este número de ocorrências de precipitação mensal causa uma diminuição acentuada dos consumos. No entanto, apenas atingem os consumos mínimos de água para uma média de 13 dias de precipitação por mês.

Também os índices meteorológicos são indispensáveis na definição do efeito das variáveis meteorológicas sobre os consumos de água. Em termos diários, o aumento linear dos consumos de água é mais acentuado a partir dos 20 °C de temperatura máxima. Numa perspetiva mensal, os consumos de água crescem mais rapidamente para valores de temperatura máxima superiores a 25 °C e diminuem de forma distinta para teores médios de humidade superiores a 80 %. Os consumos de água decrescem mais tenuemente para precipitações médias mensais acima de 1,20 mm e 10 ocorrências de precipitação por mês.

Por cada unidade de aumento de cada um dos parâmetros meteorológicos, são os consumos de água de Esposende e Vila do Conde que sofrem maior variação, demonstrando um elevado peso da meteorologia na utilização de água destas localidades. No geral, o impacto nos consumos de água é superior, se provocado pela variação da temperatura máxima. De forma contrastante, em Santo Tirso e na Trofa os índices meteorológicos são os mais baixos, traduzindo maior independência dos consumos de água face à variação meteorológica.

Relativamente aos MPCAd, estes apenas conseguem explicar cerca de 21 a 52 % da variação dos consumos de água, com base em parâmetros meteorológicos. A capacidade explicativa e a qualidade do ajuste dos MPCAm são superiores, traduzindo cerca de 54 a 79 % da variação dos volumes de água consumidos, na generalidade dos municípios do noroeste. Os MPCAd são imparciais quanto a oscilações de consumos de água pontuais. Contudo, ambas as perspetivas reproduzem significativamente as flutuações provocadas pelas estações do ano e o seu efeito sazonal.

O erro médio de estimativa entre os MPCA desenvolvidos é de 14 %, em termos globais. Contudo, nos MPCA de Póvoa de Varzim e Vila do Conde, o erro de estimação apresenta uma ponderação superior, o que compromete as suas capacidades de projeção.

A eficiência dos coeficientes estimados é posta em causa devido a questões de autocorrelação residual. Em termos mensais, apenas a temperatura máxima e a precipitação apresentam um contributo significativo na projeção dos consumos de água. Para além disso, a multicolineariedade demonstra a redundância e excesso dos parâmetros meteorológicos na tentativa de explicação dos consumos de água.

Estas questões resultam da infinidade de registos cronológicos e ao número de variáveis que serviram de base à formulação dos MPCA. Como não restringe o poder de projeção dos mesmos, os resultados apenas poderiam ser melhorados se o nível de confiança diminuísse ou realizando uma seleção cuidada das variáveis independentes em causa.

Voltando-nos agora para a análise comparativa entre a investigação que acompanha o presente trabalho e o estudo realizado por Costa (2012) a 8 municípios do Algarve, pode-se concluir acerca do efeito meteorológico sobre os consumos de água entre regiões com sub-climas distintos.

No que diz respeito às características climáticas, a região noroeste distingue-se pelas temperaturas mais baixas, ventos mais fortes, estações do ano mais chuvosas e húmidas. Apesar do barlavento algarvio apresentar o mesmo sub-clima que a região noroeste, as temperaturas são, em média, mais elevadas, os teores de humidade mais baixos e as precipitações são bastante mais escassas. Ambas as regiões apresentam uma acentuada sazonalidade que permite distinguir as estações do ano.

A população algarvia corresponde, em valores médios, a 55 % da população do noroeste e a área geográfica do Algarve é 2,5 vezes superior à totalidade da área dos municípios de noroeste. Estes valores traduzem uma menor densidade populacional e maior irregularidade na distribuição da população do Algarve.

Numa apreciação a ambas as regiões, é perceptível a discrepância existente entre os volumes de água consumidos. No Algarve, os consumos de água aos fins de semana são apenas 3% superiores aos da semana. No noroeste, esta diferença atinge, em média, 10%, essencialmente aos sábados. Este facto mostra a diferença de hábitos entre as populações no que toca à

utilização da água e seus comportamentos em termos de atividade e deslocação nestes dias. No Algarve, há menor deslocação de população aos fins-de-semana, enquanto os habitantes do norte deslocam-se frequentemente aos domingos. O hábito de praticar aos sábados determinadas limpezas, regas, lavagens de passeios ou outras utilizações, cria maior disparidade na região noroeste. No sul estas práticas são mais distribuídas durante os restantes dias da semana.

Relativamente à sazonalidade, no Algarve o aumento dos consumos de água na época de verão varia entre 50 % (Alcoutim, Silves e Faro) e um máximo de 131 % (em Albufeira). Os consumos de água dos municípios do litoral noroeste (Póvoa de Varzim, Esposende e Vila do Conde) apresentam flutuações semelhantes e um efeito sazonal mais evidente. Contudo conclui-se que, em média, no Algarve, a menor diferença de consumos de água entre os meses de verão e inverno corresponde, aproximadamente, à maior variação no conjunto de municípios do noroeste. O impacto sazonal sobre os consumos de água é uma particularidade expectável nos municípios do litoral, sendo ainda mais acentuada no Algarve devido à forte componente turística e ao conseqüente aumento populacional, sobretudo na época balnear.

No respeitante à associação entre variáveis meteorológicas e consumos de água, os graus de relacionamento relativo aos municípios algarvios são superiores aos verificados para o noroeste, refletindo uma relação maioritariamente forte, com coeficientes de correlação diários entre 0,30 e 0,94 e mensais entre 0,54 e 0,9.

A temperatura é a variável mais influente na variação dos consumos de água entre ambas as regiões. O impacto da precipitação é menos acentuado no Algarve, comparativamente ao que sucede para as localidades do noroeste. Os volumes de água consumidos no Algarve permanecem elevados ao longo de várias ocorrências de precipitação, por mês.

Em ambos os estudos, os MPCA desenvolvidos revelam-se significativos e permitem explicar satisfatoriamente a variação dos consumos de água nas duas regiões, com base nas variações meteorológicas. Os MPCA do Algarve geraram resultados mais próximos entre as estimativas e os valores de consumos de água observados, com um potencial de projeção médio de 95 % (Costa, 2012), comparativamente com a capacidade de projeção média de 65 % dos MPCA desenvolvidos para o noroeste.

Os MPCA aplicados à região do Algarve alcançam projeções legítimas e mais credíveis do que os MPCA do noroeste. Na sua generalidade, os MPCA desenvolvidos para os municípios algarvios remetem para sobrestimações dos valores dos consumos de água, ao contrário dos MPCA aplicados ao noroeste que subestimam os consumos de água nas estações de verão e inverno e sobrestimam ou aproximam-se dos consumos registados nos restantes meses do ano.

De maior interesse do ponto de vista do dimensionamento e exploração de sistemas de abastecimento de água são as capitações de água por região. Os consumos *per capita* dos municípios do Algarve são, em média, 2,3 vezes superior aos do noroeste. Nesta última região as capitações mais elevadas correspondem aos municípios do litoral e mais populosos, nomeadamente Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Esposende e Vila Nova de Famalicão. No Algarve destacam-se as capitações de Albufeira, seguidas de Aljezur, Silves e Portimão. O menor consumo *per capita* corresponde ao município de Alcoutim, que não obstante, consegue ser superior à capitação média de água no noroeste.

Nas capitações de água também estão presentes os efeitos da sazonalidade. No noroeste os consumos *per capita* no verão aumentam apenas 1 L/hab/dia, relativamente à capitação média anual. No Algarve esta diferença varia entre 10 e 87 L/hab/dia, traduzindo um maior impacto da população flutuante nos consumos de água algarvios.

Neste contexto, convém salientar que o Dec. Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto apresenta os valores de capitações mínimos admissíveis, que servem de referência para dimensionamento e conceção de infraestruturas de abastecimento de água. Acordando com os valores de capitações médias diárias dos municípios do noroeste e respetiva população, os limites mínimos admitidos na legislação em vigor não são aplicáveis no atual contexto de utilizações de água.

Daí a necessidade de uma correta projeção pois, caso contrário, a construção de sistemas de abastecimento com capacidade excessivamente superior à necessária têm como consequências o aumento significativo de custos de construção e de manutenção, prejudicando a economia a nível nacional. A causa desta ineficiente gestão dos recursos hídricos é agravada pela diminuição da adesão da população à rede de abastecimento de água, resultante da elevada disponibilidade de água no norte do país. Isto gera um ciclo de aumento de tarifas por consumidor de água e, conseqüentemente, menor adesão à rede de abastecimento.

Pelo contrário, as capitações de água em Portimão, Silves, Aljezur e Albufeira ultrapassam, de forma excessiva, os 200 L/hab/dia. Estes valores podem resultar de consumos abusivos por parte da população ou de elevadas perdas e fugas de água na rede de distribuição de água. Da mesma forma, estas circunstâncias favorecem o aumento dos custos de exploração, um maior desaproveitamento de recursos naturais e maior sobrecarga sobre os equipamentos em funcionamento. Todos estes gastos aumentam os custos de faturação da água e a insatisfação dos consumidores.

No que concerne a sistemas públicos de abastecimento de água, a legislação portuguesa concentra-se, somente, na definição de limites de capitações de água mínimos admissíveis e não estipula qualquer margem de capitações máximas admitidas.

Finalizando, é da maior importância a realização de investigações no que concerne ao real consumo de água e fatores socioeconómicos associados. Só desta forma será possível compreender e adaptar os indicadores de dimensionamento e conceção de redes de abastecimento à prática dos consumos de água em Portugal.

## **8.2 Recomendações Para Trabalhos Posteriores**

A concretização de modelos de projeção dos consumos de água é uma matéria já desenvolvida há alguns anos, contudo, em Portugal é, ainda, um assunto pouco desenvolvido. Desta feita, são inúmeras as temáticas relacionadas que poderão ser investigadas e confrontadas com as conclusões retiradas do presente estudo. Algumas sugestões de trabalhos a desenvolver posteriormente são apresentados de seguida:

- Estudo do impacto causado pela meteorologia nos consumos de água da região nordeste (Alto Trás-Os-Montes e Douro) e confronto com o estudo da região noroeste. Análise dos efeitos sazonais, consumos de água numa região interior, de intensa atividade rural, baixo número de habitantes e flutuação populacional pouco significativa.
- Investigação da influência meteorológica na região centro de Portugal e análise comparativa com as investigações já realizadas para o norte e sul do país.
- Simplificação dos MPCA, com base em parâmetros meteorológicos médios ou máximos e adição de outras variáveis meteorológicas de impacto significativo, nomeadamente, a evapotranspiração.

- Avaliação do desempenho de outros métodos de projeção que permitam obter resultados mais próximos das observações e menos problemas de autocorrelação residual e multicolinearidade: recurso a modelos em cascata ou a RNAs.
- Desenvolvimento de MPCA que incluam variáveis do âmbito sociológico, nomeadamente, o número de habitantes, a taxa de população flutuante, a tipologia de área de consumo (rural, urbana), referência ao dia da semana, fins-de-semana ou feriados, ponderação das atividades económicas preponderantes (indústria, comércio, agricultura), peso do consumo de água público, consumo médio de energia elétrica, utilização de captações subterrâneas particulares por residência, aplicação de medidas de contenção de perdas de água, entre outras variáveis que restringem os volumes de água consumidos.
- Estudo dos consumos *per capita* nas regiões nordeste e centro de Portugal. Análise comparativa com a investigação realizada para o noroeste e Algarve e avaliação da legitimidade dos limites mínimos admissíveis propostos no artigo 13º, do Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto.



---

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Adamowski, J., Chan, J., H. F., Prasher, S. O., Ozga-Zielinski B., Sliusarieva, A. (2012), Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada, *Water Resour. Res.*, 48, issue 1, W01528, doi:[10.1029/2010WR009945](https://doi.org/10.1029/2010WR009945)
- Akuoko-Asibey, A., Nkemdirim, L. C., Draper, D. L. (1993), The Impacts of Climatic Variables o Seasonal Water Concumption in Calgary, Alberta, *Canada Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 18, issue 2, 107-116.
- Albright, S. C., Winston, W., Zappe, C. (2002), *Data Analysis & Decision Making*. 2<sup>nd</sup> Ed., USA: Pacific Grove.
- Amaro A. A. (2014), *Uma introdução à Econometria*, 2<sup>a</sup> Ed, Lulu.com. Portugal. ISBN 9781445263687 pp. 153 e 154.
- Babel, M. S., Gupta, A., Pradhan, P. (2007), A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu. Nepal, *Water Resource Manage*, 21, 573-489, doi:10.1007/s 1269-006-9030-6.
- Bakker, M., Duist, H. V., Schagen, K. V., Vreeburg, J., Rietveld, L. (2013). Improving the performance of water demand forecasting models by using weather input. 12<sup>th</sup> International Conference on Computing and Control for the Water Industry. *Procedia Engineering*, vol. 70, 93 – 102.
- Barbiero, L. C. S., Lemes, E. S. (2011), A influência das estações do ano nos consumos de água em Maringá-PR, *Revista Percurso- NEMO Maringá, Brasil*, v. 3, n. 1, 183-191.
- Baxter, C. W., Zhang, Q., Stanley, S. J., Shariff, R., Tupas, R. T., Stark, H. L. (2001), Drinking Water Quality and Treatment: The Use of Artificial Neural Networks, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28 (1), 26-35.
- Braga, L.P.V. (2010), *Compreendendo Probabilidade e Estatística*, Editora E-Papers, o de Janeiro, Brasil.
- Billings, R. B., Jones, C. V. (1996), *Forecasting Urban Water Demand*, Edited by B. Cobban, USA.-Denver: American Water Works Association.

- Boland, J. J. (1985), *Forecasting water use: A tutorial. Computer Applications in water resources*. Edited by H. C. Torno, Nova York: Buffalo.
- Borges, V. M. N. A. (2003), Acoplamento de um modelo de Previsão de Demanda de Água a um Modelo Simulador em Tempo Real – Um estudo de caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Bougadis, J., Adamowski, K., & Diduch, R. (2005), Short-term municipal water demand forecasting, *Hydrological Processes*, 19(1), 137–148., doi:10.1002/hyp.5763.
- Bowerman, B. L. , O’Connell, R. T. (1979), *Time Series and Forecasting: An Approach*. USA-California: Duxbury.
- Brandão, R. M. Introdução à Estatística: Conceitos Básicos em Estatística (2008), Departamento de Matemática da Universidade dos Açores, disponível em <http://www.rbrandao.uac.pt/IntEstatistica/AcetatosCap0.pdf>. Acedido em 19-07-2014.
- Buhamra S., Smaoui, N., Gabr, M. (2003), The Box–Jenkins analysis and neural networks: prediction and time series modelling, *Applied Mathematical Modelling. Department of Statistics and Operations Research*, Kuwait University. 805-815.
- Carvalho, I. C. (2013), Proposição de Modelos de Previsão de Consumo de Água para Ambientes Aeroportuários, Dissertação para Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Catrino I. N. (2010), Análise das Condições Higrométricas na Biblioteca Joanina da Universidade de Coimbra, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Portugal.
- Coelho, L. S., Trautwein-Junior, B., Vieira, G. E. (2003), Avaliação de redes neurais e ajustamento exponencial aplicados à previsão de consumo a curtíssimo prazo. Congresso Brasileiro de Redes Neurais. São Paulo, Brasil, 54-59
- Coelho-Barros, E. A., Simões, P. A., Achcar, J. A., Martinez, E. Z., Shimano A. C., (2008), Métodos de estimação em regressão linear múltipla: aplicação a dados clínicos, *Revista Colombiana de Estadística*, 31, 111-129.
- Correa, S. M. B. B. (2003), *Probabilidade e Estatística*, 2ª Edição, Minas Gerais, Brasil: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais,. Disponível em

---

[http://www.inf.ufsc.br/~verav/LIVROS/LIVROS/livro\\_probabilidade\\_estadistica\\_2a\\_ed.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~verav/LIVROS/LIVROS/livro_probabilidade_estadistica_2a_ed.pdf). Acedido em 21-07-2014

- Costa, H. R. L. (2012). Influência das Variáveis Meteorológicas nos Consumos de Água, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal.
- Decreto-lei nº 59/2001 de 30 de maio. Diário da República nº 125/2001 - I Série B. Ministério do Ambiente. Lisboa
- Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto. Diário da República nº 194/95 - I Série B. Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de águas e de drenagem de águas residuais. Ministério do Ambiente. Lisboa.
- Dias, R. A. P. (2008). Diagnóstico e redução da influência da multicolinearidade na estimação de efeitos genéticos aditivos e não-aditivos em uma população de bovinos compostos (Box taurus x Bos indicus), Dissertação para obtenção de título de Mestre em Agronomia, Estatística e Experimentação Agronómica. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Downey, K. T. (2006), *Weather Induced Changes on Domestic Water Consumption*, Australia: University of Southern Queensland.
- Duarte, A. A. L. S. (2007), Impacto das Alterações Climáticas na Gestão da Água, *Revista águas e resíduos, Série III* (2) 58-73.
- Faísca, L. (2010), Modelar relações entre variáveis quantitativas. Seminário de Métodos e Análise de Dados, Tese de Doutoramento em Psicologia, Universidade do Algarve.
- Falkenberg, A. V. (2005), Previsão de Consumo Urbano de água em curto prazo. Dissertação de Mestrado, Curitiba, Brasil.
- Falkenberg, A. V., Diminsky A. S., Ribeiro E. P. (2003), Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Previsão de Consumo de Água, *Anais VI Congresso Brasileiro de Redes Neurais, São Paulo, Brasil*, 319-324.
- Fanning, J. L. (1993). *Influence of climate on public supply system water use in Georgia*. Georgia Water Resources Conference. University of Georgia, U.S.A. p. 172
- Ferreira, M. C. C. S. (2013). Modelos de Regressão: uma aplicação em Medicina Dentária, Dissertação apresentada na Universidade Aberta para obtenção do grau de Mestre em Matemática, Estatística e Computação, Universidade Aberta.

- Ferreira, T. A. E. (2001), *Mineração e Previsão de Séries Temporais*. Apresentação d aula. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Pereira filho, A. J., L. C. T. Rodrigues e W. Ginez (2004) Impacto das condições meteorológicas no consumo de água na Região Metropolitana de São Paulo. 1º Seminário de Planejamento Urbano e Desastres Naturais, XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, Brasil.
- Gato, S., Jayasuriya, N., and Roberts, P. (2007). Temperature and rainfall thresholds for base use urban water demand modeling, *Journal of Hydrology*, 337 (3-4), 364-376.
- Gössling, S. (2013), *Tourism and water: Interrelationships and management*, Suécia: Linnaeus Universty.
- Gutmann M. L. (2009), The effect of frontal lobe function on proverb interpretation in Parkinson's disease, Dissertação para obtenção de grau de doutor de Filosofia, University of Arizona, Departamento de ciências do discurso, linguagem e audição.
- Gutzler, D. S. and J. S. Nims (2005). Interannual variability of water demand and summer climate in Albuquerque, New Mexico. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 44, 1777-1787
- Haykin, S. (1999), *Redes Neurais: princípios e prática*, 2ª Ed., Porto Alegre: Editora Bookman.
- Henriques, A., Neves, C., Pesquita, I. (2004), Estudos correlacionais e estudos causal-comparativos, Metodologia da Investigação I – 2004/2005, 1-5.
- INE (2011). Instituto Nacional de Estatística. Censos 2011. Lisboa.
- Jain, A., Omsbee, L. E. (2002), Short-term water demand forecast modeling techniques: conventional method versus AI, *Journal of American Water Association*, 94,(7),64-72.
- Jain, A., Varshney, A. K., Joshi, U. C. (2001), Short-Term Water Demand Forecast Modelling at I.I.T. Kanpur Using Artificial Neural Networks, *Water Resour. Mgmt.*, 15(5), 299-321.
- Jones, C.V., Boland, J.J., Crews, J.E.; *et al.* (1984), *Municipal Water Demand: Statistical and Management Issues*. Studies in Water Policy and Management, Nº. 4, Boulder, CO: Westview Press.
- Joo, C. N., Koo, J. Y. & Yu, M. J. (2002), Application of short-term water demand prediction model to Seoul, *Water Science and Technology*, 46 (6-7), 255-261.

- Junior, B. T. (2004). Avaliação de Métodos para Previsão de Consumo de Água para Curtíssimo Prazo: um Estudo de Caso em Empresa de Saneamento, Curitiba, Brasil, Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- Karavitis, A. C. (2005). Uso da Água na Europa, Land Care in Desertification Affected Areas From Science Towards Application. Folheto nº 5, disponível em [http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B5\\_Leaflet\\_PT.pdf](http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B5_Leaflet_PT.pdf), acessado em 09/06/2014.
- Kenny, D., Goemans, C., Klein, R., Lowey, J., & Reidy, K. (2008). Residential Water Demand Management: Lessons from Aurora, Colorado, *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1):192-207. doi: 10.1111/j.1752-1688.2007.00147.x
- Leotti, V. B., Birck, A. L., Riboldi, J. (2004), Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorovsmirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. *11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica e a 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS)*.
- Maidment, D. M. (1985), Transfer function models of daily urban water use, *Water Resources Research, Institute of Statistics, Texas A & M University*, 21(4),425-432.
- Maidment, D. R. & Prazen, E. (1984), Cascade Model of Monthly Municipal Water Use, *Water Resources Research*, 20(1),15-23.
- Maidment, D. R., & Miao, S. P. (1986), Daily water use in nine cities, *Water Resources Research*. 22 (6), 845-851.
- Makridakis, S. G. (1990), *Forecasting, planning, and strategy for the 21st century*. London: Free Press.
- Matos, J. C.C.T. (2007), Proposição de método para definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano, Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília.
- Matos M. A. (1995), *Manual Operacional para a Regressão Linear*, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Miaou, S.-P. (1990). A Class of Time Series Urban Water Demand Models With Nonlinear Climatic Effects, *Water Resources Research*, 26 (2), 169–178.

- Miloca S. A., Conejo, P. D. (2014), *Multicolinearidade em Modelos de Regressão*. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Brasil-Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
- Minussi, J. A., Damacena C., Ness W. L. J. (2002), Um modelo de previsão de solvência utilizando regressão logística, *Revista de Administração Contemporânea*, 6(3). vol. 6 nº.3. Curitiba. Brasil, disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65552002000300007>, acessado em 28-08-2014.
- Montgomery, D., Runger, G. (2003), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 3<sup>rd</sup> Ed., USA: Arizona State University. USA.
- Moura, R. G. (2006), O Pânico Climático, A política do medo, disponível em [http://a\\_verdade\\_da\\_mentira.weblog.com.pt/arquivo/237603.html](http://a_verdade_da_mentira.weblog.com.pt/arquivo/237603.html) acessado em 29-11-2013.
- Murteira, B. J. F., Müller, D. A. & Turkman K. F. (1993), *Análise de Sucessões Cronológicas*, Lisboa: McGraw-Hill.
- Neto, M. L. F. (2003) Avaliação de parâmetros intervenientes no Consumo per capita de água: estudo para 96 municípios do estado de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Normando, D., Tjäderhane, L. & Quintão, C. C. A. (2010), A escolha do teste estatístico – um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint, *Dental Press J. Orthod.*, 15 (1), 101-106.
- Odan, F. K. (2010), Previsão de Demanda para Sistema de Abastecimento de Água. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil.
- Oliveira, M. M. (2004). Modelos de Regressão Não Lineares. Excerto das notas pessoais, disponível em <http://www.fep.up.pt/disciplinas/2E112/pdf%20files/nlin.pdf>. Acessado a 05-12-2013.
- Peres-Neto P.R., Valentin J. L., Fernandez F.A.S. (1995), Tópicos em Tratamento de Dados Biológicos: Introdução a Análises Morfométricas. Oecologia Brasiliensis. Volume II, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

- Protopapas, A. L., Katchamart, S. e Platonova, A. (2000), Weather effects on daily water use in New York city, *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE* 5 (3):332:338.
- RASARP (2012), Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal, Volume 3 - Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores. Lisboa, Portugal. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- Rhoades, S. D., Walski, T. M. (1991), Using Regression: Analysis to Project Pumpage. *Journal of American Water Association*, 83, 45-50.
- SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda. Modelo Previsional da Otimização do SCOA, vol. I- Introdução, 1986, 15p.
- Santos, C. C. (2011), Previsão de Demanda de Água na Região Metropolitana de São Paulo com Redes Neurais Artificiais e Condições Socioambientais e Meteorológicas. Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Escola Politécnica de São Paulo, Brasil.
- Santos, F. D. & Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação – Projeto SIAM II*, Lisboa: Gradiva.
- Santos, F. D., Forbes, K. & Moita, R. (2002). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM Project*, 1ª ed., Lisboa: Gradiva.
- Silva, B. M. P. (2008), Efeitos da não adesão dos consumidores a uma rede de abastecimento de água. Relatório de Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em engenharia civil - especialização em hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Silva, C. S. (2003), Previsão multivariada da demanda horária de água em sistemas urbanos de abastecimento, Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil na área de concentração de Recursos Hídricos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
- Silva, F. C. (2005), Importância da Água em Saúde Pública. Sessão teórica do módulo de saneamento da disciplina de Enfermagem em Saúde Comunitária. Faculdade de Ciências Humanas da Universidade Católica Portuguesa, Braga. Disponível no Portal de Saúde Pública: [http://www.saudepublica.web.pt/06-saudeambiental/061-Aguas/AbastecimAgua\\_texto.htm](http://www.saudepublica.web.pt/06-saudeambiental/061-Aguas/AbastecimAgua_texto.htm). Acedido em 07/03/2014.

- Silva, J. F. F., Haie, N. & Vieira, J. M. P. (1995), *Análise, Modelação em Cascata e Projeção de Consumos de Água*. Número 1. Engenharia Civil. UM, Nº 1, 59-72.
- Silva, J. F. F. & Pinto, M. A. Q. (2006), *Caracterização, modelação e previsão de utilizações de água utilizando ferramentas estatísticas*, 8º Congresso da Água, Universidade do Minho, Guimarães.
- Silva, R. T. & Rocha, W. S. (1999), *Caracterização da demanda urbana de água*, Brasília: Secretaria especial de Desenvolvimento Urbano.
- Souto-Maior V. Q., Cysneiros F. J. A. (2009), *Análise de diagnóstico em modelos de regressão exponencial potência assimétricos*. XVII Congresso de Iniciação Científica. I Congresso de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Tarré, A. F. M. V. (2009), *Análise de valores de avaliação de apartamentos no âmbito do Crédito a Habitação, para duas zonas distintas do concelho de Lisboa – recurso a Modelos Hedónicos*, Projeto de Mestrado Executivo em Gestão e Avaliação Imobiliária. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Torman V. B. L., Coster R. e Riboldi J. (2012), *Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação*. Departamento de Estatística, Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, *Revista HCPA*, 227-234.
- Tuckman, B. W. (2000), *Manual de Investigação em Educação*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Vianna V., Depexe, M. D. (2013), *Modelagem de dados por regressão múltipla para previsão do consumo de água em Umuarama*, *Exacta-EP São Paulo*, 11(1), 33-46.
- Vieira, J. M. (2003), *Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Plano Nacional da Água*, *Revista de Engenharia Civil Universidade do Minho*, 16, 1-3.
- Weir I. (2011) Spearman's Correlation. University of the West of England. Explicação escrita para a Statstutor. Disponível em <http://www.statstutor.ac.uk/types/teach-yourself/spearman's-correlation-coefficient/>. Acedido em 18-06-2014.



- Yasar, A., Bilgili, M., Simsek, E. (2012), Water demand forecasting based on stepwise multiple nonlinear regression analysis, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(8), 2333-2341.
- Yassuda, E. R., Oliveira, W. E., Gaglianone, S., Nogami, P. S., Pereira B. E. B., Marins, J. A. (1976), *Técnica de abastecimento e tratamento de água. Volume. 1*, 2ª ed., São Paulo: CETESB.
- Zhang, J., Song, R., Bhaskar, N. R., & French, M. N. (2006). Short term water demand forecasting: a case study. In *8th annual water distribution systems analysis symposium. ASCE Library, Cincinnati*.

## LISTA DE ENDEREÇOS DOS SITES CONSULTADOS

- INE (2014) Estimativas e projeções, disponível em [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0004167&contexto=bd&selTab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0004167&contexto=bd&selTab=tab2), Acedido em 3-09-2014,
- IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2011). Normais Climatológicas. Acompanhamento do Clima Português, disponível em - <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>, acedido em 28-02-2014
- Grupo Porto Editora, Infopédia. Artigos de Apoio, Melgaço, Aspetos Geográficos. Disponível em: <http://www.infopedia.pt/apoio/artigos/9369000>. Acedido em 10-08-2014.
- Câmara Municipal de Barcelos. Disponível em: <http://www.cm-barcelos.pt/>. Acedido em: 09/05/2014
- Câmara Municipal de Esposende. Disponível em: <http://www.cm-esposende.pt/>. Acedido em: 09/05/2014
- Câmara Municipal de Póvoa de Varzim. Disponível em: <http://www.cm-pvarzim.pt/>. Acedido em: 09/05/2014
- Câmara Municipal de Santo Tirso. Disponível em: <http://www.cm-stirso.pt/>. Acedido em: 09/05/2014
- Município da Trofa. Disponível em: <http://www.mun-trofa.pt/>. Acedido em: 09/05/2014
- Câmara Municipal de Vila do Conde. Disponível em: <http://www.cm-viladoconde.pt/>. Acedido em: 09/05/2014

Câmara Municipal de Vila Nova de Famalicão. Disponível em: <http://www.cm-vnfamalicao.pt/>. Acedido em: 09/05/2014

Câmara Municipal de Albufeira. Disponível em: [http://www.cm-albufeira.pt/portal\\_autarquico/albufeira/v\\_pt-PT](http://www.cm-albufeira.pt/portal_autarquico/albufeira/v_pt-PT). Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Alcoutim. Disponível em: <http://www.cm-alcoutim.pt/pt/Default.aspx>. Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Aljezur. Disponível em: <http://www.cm-aljezur.pt/pt/Default.aspx>. Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Faro. Disponível em: <http://www.cm-faro.pt/default.aspx>. Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Loulé. Disponível em: <http://www.cm-loule.pt/default.aspx>. Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Portimão. Disponível em: <http://www.cm-portimao.pt/>. Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Silves. Disponível em: [http://www.cm-silves.pt/portal\\_autarquico/silves/v\\_pt-PT](http://www.cm-silves.pt/portal_autarquico/silves/v_pt-PT). Acedido em: 10/05/2014

Câmara Municipal de Tavira. Disponível em: <http://www.cm-tavira.pt/site/index.php>. Acedido em: 10/05/2014

# **ANEXOS**



# Anexo I

## Classificação climática de Köppen-Geiger

Tabela A.1.1 Classificação Climática de Köppen-Geiger

Ordem da letra	Indicação da letra	Definição climática	Características Climáticas
1 <sup>a</sup>	A	Clima Tropical	Inexistência de estação invernososa Elevada precipitação anual Temperatura média do mês mais frio superior a 18°C.
	B	Clima Árido	Inexistência de cursos de água permanente devido ao clima bastante seco Precipitação anual inferior a 500mm Evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual
	C	Clima Temperado ou Clima Temperado Quente	Clara distinção entre as estações de Verão e Inverno. Temperatura média do ar entre -3°C e 18°C, relativamente aos meses mais frios.
	D	Clima Continental ou Clima Temperado Frio	Distinção das estações de Verão e de Inverno. Temperatura média do ar inferior a -3°C do mês mais frio. Temperatura média do ar superior a 10° do mês mais quente.
	E	Clima Glacial	Pouca definição ou inexistência da estação de Verão. Temperatura média do ar inferior a 10°C no mês mais quente.
2 <sup>a</sup>	S	Clima das estepes	Precipitação anual total média entre 380 e 760mm
	W	Clima desértico	Precipitação anual total média inferior a 250 mm
	F		Temperatura média do mês mais quente não positiva
	M		Inverno pouco rigoroso Precipitação em abundância
	T		Temperatura média do ar do mês mais quente entre 0°C e 10°C
	f	Clima húmido	Precipitação em todos os meses do ano Indefinição de estação seca
	w		Chuvas de Verão
	s		Chuvas de Inverno
	w'		Chuvas de Verão-Outono
	s'		Chuvas de Inverno-Outono
m	Clima de Monção	Precipitação anual média superior a 1500 mm Precipitação relativa ao mês mais seco inferior a 60 mm	
3 <sup>a</sup>	a	Verão quente	Temperatura média do ar não inferior a 22°C, no mês mais quente.
	b	Verão temperado	Temperatura média do ar não superior a 22°C, no mês mais quente. Temperaturas médias do ar não superiores a 10°C, nos quatro meses mais quentes.
	c	Verão curto e fresco	Temperatura média do ar inferior a 22°C no mês mais quente. Temperatura média do ar inferior a -38°C no mês mais frio.
	d	Inverno rigoroso	Temperatura média do ar inferior a -38°C, no mês mais frio.
	h	Clima seco e quente	Temperatura média do ar superior a 18°C.
	k	Clima seco e frio	Temperatura média do ar inferior a 18°C.



# Anexo II

## Águas do Noroeste

**Tabela A2.1** Identificação das infraestruturas de tratamento de água e pontos de entrega por subsistema e município

Município	Subsistema	Infraestrutura de Tratamento	Designação	Pontos de Entrega
Fafe	Queimadela	ETA	ETA de Queimadela	PE Fafe
Venda Nova	Rabagão	ETA	ETA Rabagão (em funcionamento desde Março 2013)	PE Vieira do Minho e Aboim
Vieira do Minho	Vieira do Minho	IT	ETA Vieira do Minho (desativada em março de 2013)	PE Vieira do Minho
Póvoa de Lanhoso	Andorinhas	ETA	ETA Andorinhas	PE Póvoa de Lanhoso e Parada de Bouro
Fafe	Fontela e Barbosa	IT	ETA Fontela e Barbosa	PE Fontela e Barbosa
Fafe	SDF	IT	SDF Aboim (desativada em agosto 2013)	PE Aboim
Fafe	SDF	IT	SDF Pedraído	PE Pedraído
Fafe	SDF	IT	SDF Revelhe	PE Revelhe
Fafe	SDF	IT	SDF Várzea Cova	PE Várzea Cova
Fafe	SDF	IT	SDF Ribeiras	PE Ribeiras
Fafe	SDF	IT	SDF Felgueiras	PE Felgueiras
Fafe	SDF	IT	SDF Lagoa	PE Lagoa
Fafe	SDF	IT	SDF Luílas	PE Luílas
Fafe	SDF	IT	SDF Igreja	PE Igreja
Fafe	SDF	IT	SDF Vilarelho e Cima de Vila (desativada em outubro 2013)	PE Vilarelho e Cima de Vila
Fafe	SDF	IT	SDF Ribeiras-Queimadela	PE Ribeiras-Queimadela
Barcelos	Areia de Vilar	ETA	ETA Areias de Vilar	PE Barcelos, Esposende, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Maia, Trofa, Santo Tirso e Vila Nova de Famalicão

Município	Subsistema	Infraestrutura de Tratamento	Designação	Pontos de Entrega
Arcos de Valdevez	S. Jorge	ETA	ETA S. Jorge	PE Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Viana do Castelo, Caminha, Vila Nova de Cerveira, Monção, Junta de Freguesia de Paderne
Caminha	Cavada (S. Jorge)	IT	ETA Cavada (Subsistema de reforço, não funciona a totalidade do ano)	PE caminha e Vila Nova de Cerveira
Caminha	Valada (S. Jorge)	ETA	ETA Valada (Subsistema de reforço, não funciona a totalidade do ano)	PE de Caminha
Arcos de Valdevez	Ázere (S. Jorge)	IT	ETA Ázere (Subsistema de reforço, não funciona a totalidade do ano)	PE Arcos de Valdevez
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	ETA Insalde	PE Insalde+ PE Resende
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	ETA Castanheira	PE Castanheira+PE Resende
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Furo de Águalonga ( RR Águalonga)	PE Resende
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Nascente Angústias (RR Padornelo Angustias D1)	PE Insalde
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Nascente Carote ( RR Alto do Monte)	PE Resende
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Nascente Cova da Loba (RR Cunha Lisouros D4)	PE Castanheira
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Nascente Motas de Ouro (RR Cunha/Tozende)	PE Resende
Paredes de Coura	Paredes de Coura	IT	Nascente Santa Cristina (RR Alto da Cividade)	PE Resende
Monção	Lapela	ETA	ETA Lapela (Não funciona a totalidade do ano)	PE Valença



# Anexo III

## Análise comparativa das PWS selecionadas

**Tabela A3.1** Matriz de correlação entre os registos de temperatura média das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		TmedT	TmedB	TmedL	TmedG	TmedM
TmedT	$\rho$ Spearman	1,00	0,93	0,93	0,93	0,95
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
TmedB	$\rho$ Spearman	0,93	1,00	0,88	0,97	0,95
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
TmedL	$\rho$ Spearman	0,93	0,88	1,00	0,89	0,90
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
TmedG	$\rho$ Spearman	0,93	0,97	0,89	1,00	0,96
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
TmedM	$\rho$ Spearman	0,95	0,95	0,90	0,96	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

**Tabela A3.2** Matriz de correlação entre os registos de temperatura mínima das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		TminT	TminB	TminL	TminG	TminM
TminT	$\rho$ Spearman	1,00	0,86	0,88	0,84	0,87
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
TminB	$\rho$ Spearman	0,86	1,00	0,92	0,94	0,90
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
TminL	$\rho$ Spearman	0,88	0,92	1,00	0,91	0,91
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
TminG	$\rho$ Spearman	0,84	0,94	0,91	1,00	0,89
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
TminM	$\rho$ Spearman	0,87	0,90	0,91	0,89	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

**Tabela A3.3** Matriz de correlação entre os registos de humidade máxima das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		HmaxT	HmaxB	HmaxL	HmaxG	HmaxM
HmaxT	$\rho$ Spearman	1,00	0,64	0,44	0,57	0,43
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
HmaxB	$\rho$ Spearman	0,64	1,00	0,42	0,65	0,55
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
HmaxL	$\rho$ Spearman	0,44	0,42	1,00	0,45	0,48
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
HmaxG	$\rho$ Spearman	0,57	0,65	0,46	1,00	0,49
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
HmaxM	$\rho$ Spearman	0,43	0,55	0,48	0,49	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

**Tabela A3.4** Matriz de correlação entre os registos de humidade média das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		HmedT	HmedB	HmedL	HmedG	HmedM
HmedT	$\rho$ Spearman	1,00	0,84	0,49	0,65	0,67
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
HmedB	$\rho$ Spearman	0,84	1,00	0,50	0,82	0,78
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
HmedL	$\rho$ Spearman	0,49	0,50	1,00	0,59	0,40
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
HmedG	$\rho$ Spearman	0,65	0,82	0,59	1,00	0,80
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
HmedM	$\rho$ Spearman	0,67	0,78	0,40	0,80	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

**Tabela A3.5** Matriz de correlação entre os registos de humidade mínima das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		HminT	HminB	HminL	HminG	HminM
HminT	$\rho$ Spearman	1,00	0,79	0,59	0,72	0,70
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
HminB	$\rho$ Spearman	0,79	1,00	0,43	0,77	0,80
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
HminL	$\rho$ Spearman	0,59	0,43	1,00	0,56	0,31
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
HminG	$\rho$ Spearman	0,72	0,77	0,56	1,00	0,76
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
HminM	$\rho$ Spearman	0,70	0,80	0,31	0,76	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

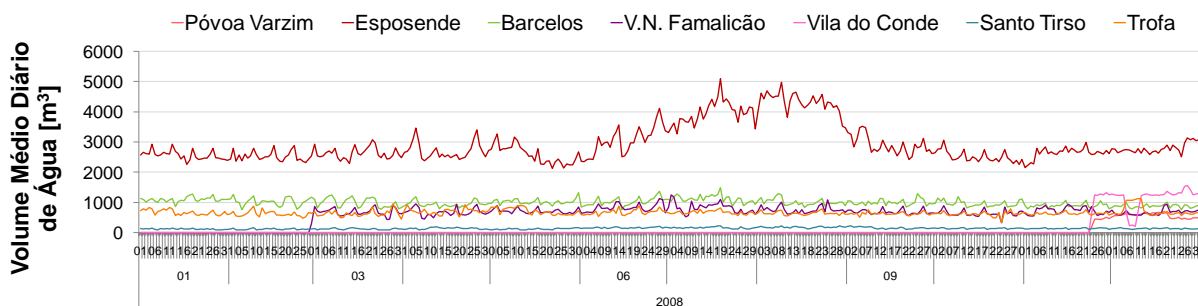
**Tabela A3.6** Matriz de correlação entre os registos de precipitação média mensal das PWS selecionadas

Variáveis	Parâmetros	Variáveis				
		PtotalT	PtotalB	PtotalL	PtotalG	PtotalM
PtotalT	$\rho$ Spearman	1,00	0,72	0,71	0,72	0,69
	Valor Prova	-	0,00	0,00	0,00	0,00
PtotalB	$\rho$ Spearman	0,72	1,00	0,69	0,79	0,72
	Valor Prova	0,00	-	0,00	0,00	0,00
PtotalL	$\rho$ Spearman	0,71	0,69	1,00	0,73	0,63
	Valor Prova	0,00	0,00	-	0,00	0,00
PtotalG	$\rho$ Spearman	0,72	0,79	0,73	1,00	0,71
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	-	0,00
PtotalM	$\rho$ Spearman	0,69	0,72	0,63	0,71	1,00
	Valor Prova	0,00	0,00	0,00	0,00	-

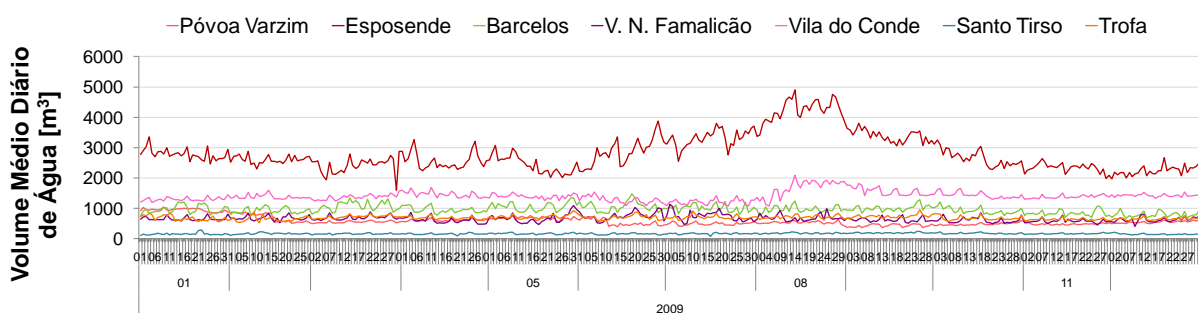


# Anexo IV

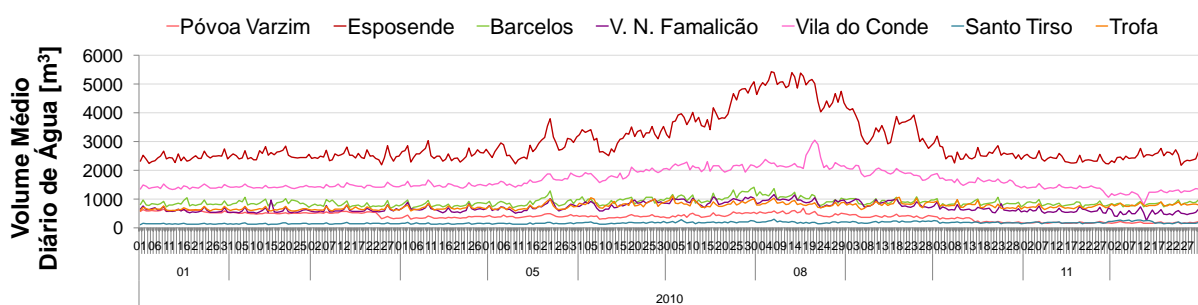
## Análise dos consumos médios diários de água



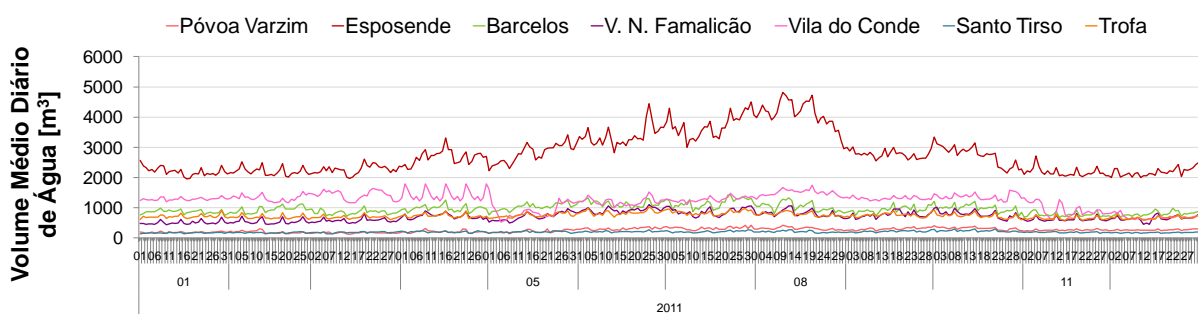
a)

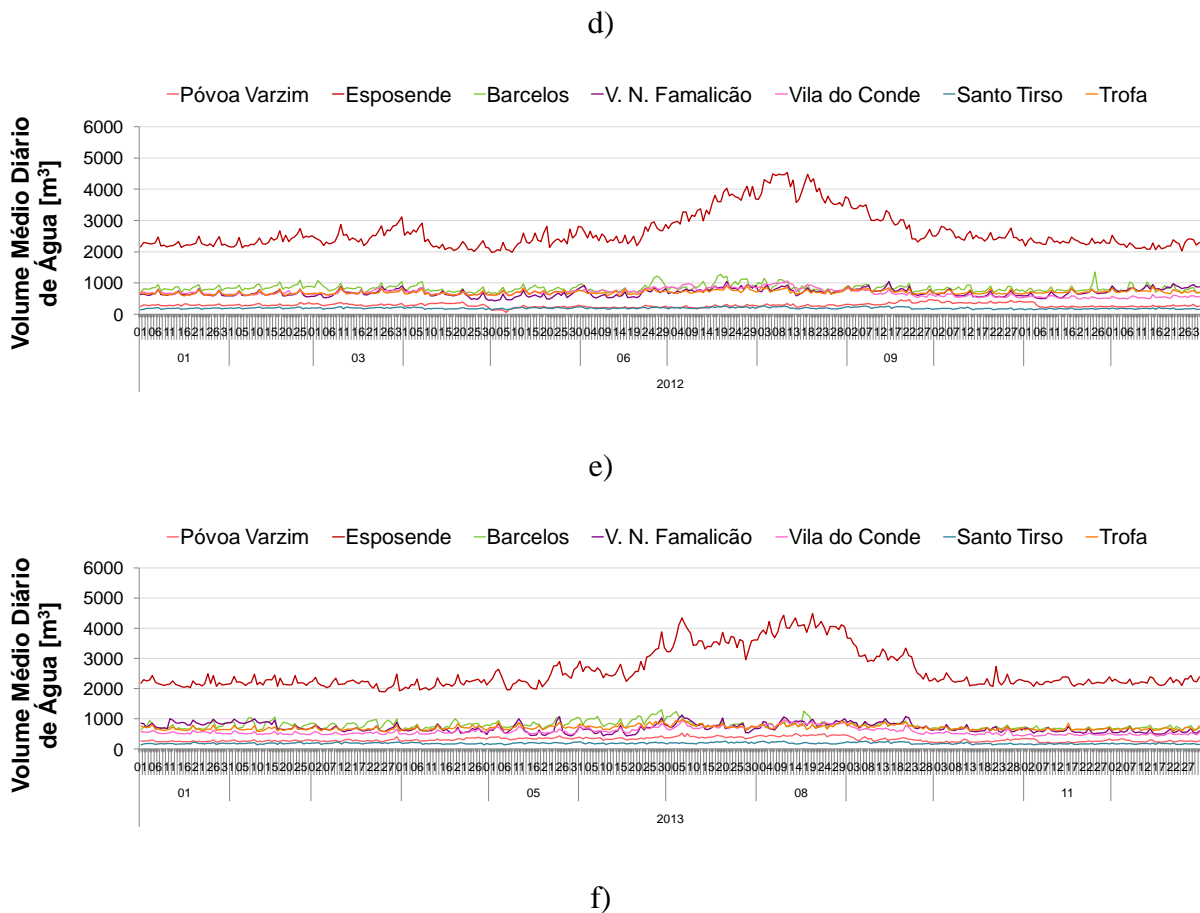


b)



c)

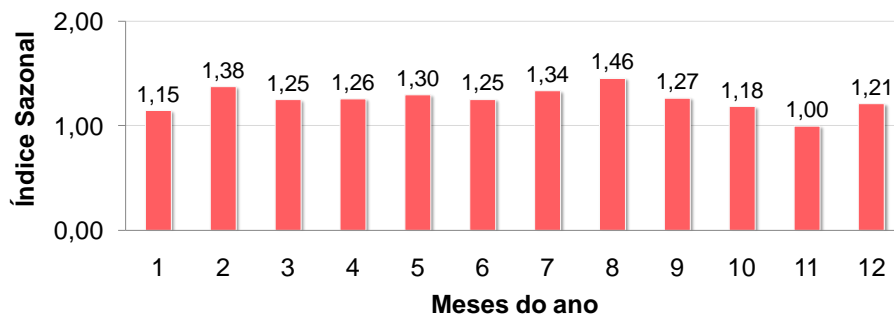




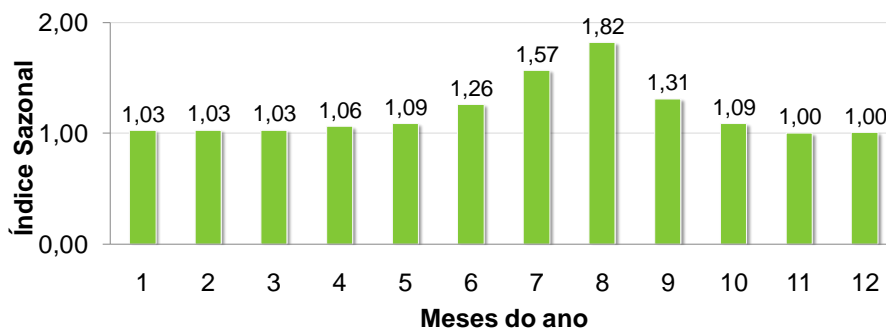
**Figura A.4.1** Séries cronológicas de consumos médios diários de água nos municípios em estudo, no ano de: a) 2008; b) 2009; c) 2010; d) 2011; e) 2012; f) 2013

# Anexo V

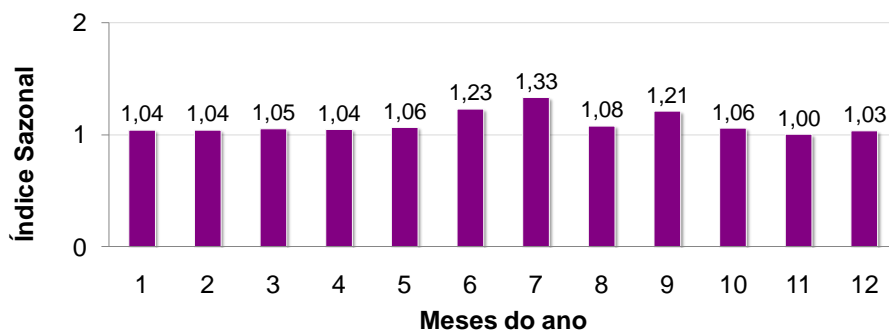
## Índices sazonais dos consumos médios mensais de água



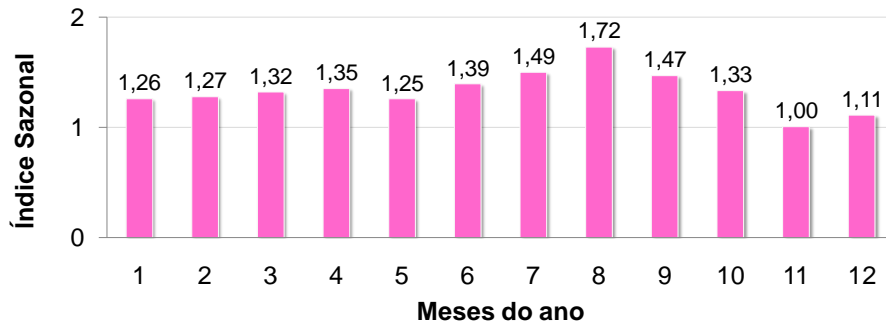
**Figura A5.1** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de Póvoa de Varzim



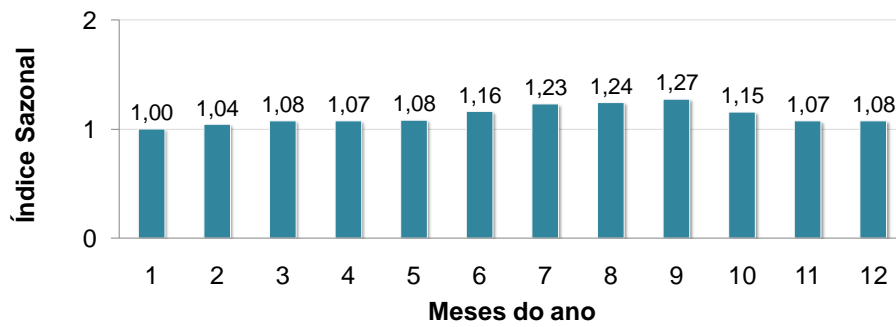
**Figura A5.2** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de Barcelos



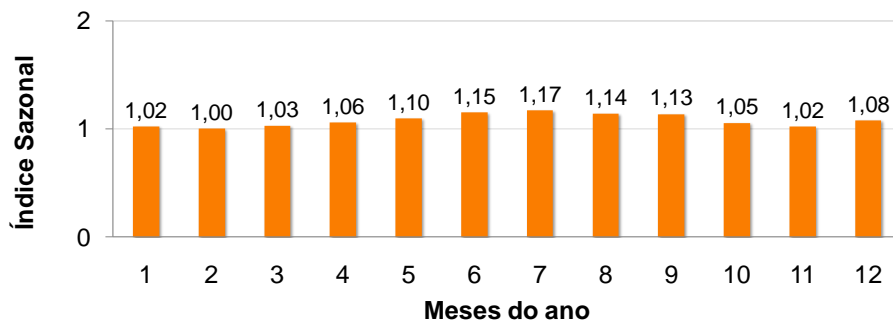
**Figura A5.3** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de V. N. de Famalicão



**Figura A5.4** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de Vila do Conde



**Figura A5.5** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de Santo Tirso



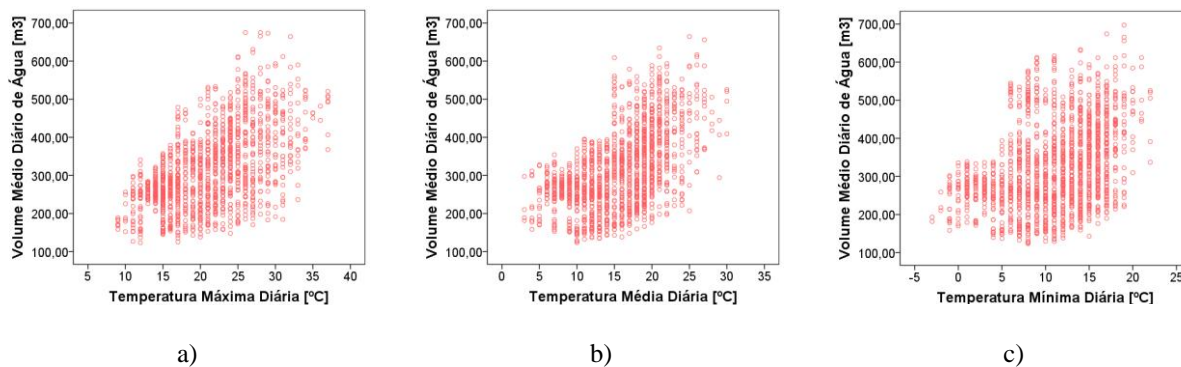
**Figura A5.6** Índices sazonais dos consumos médios mensais de água no município de Trofa



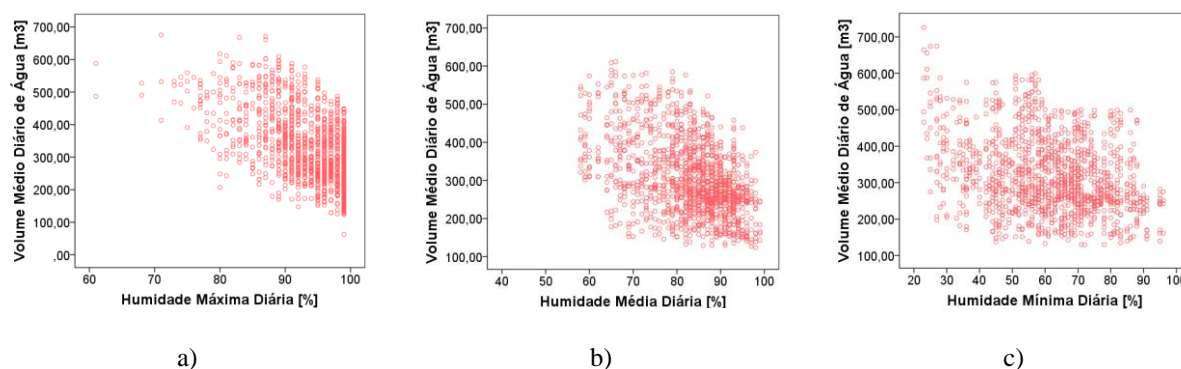
# Anexo VI

## Análise bivariada – correlações diárias

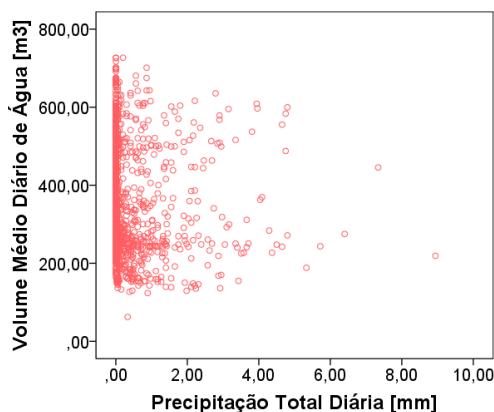
### Póvoa de Varzim



**Figura A6.1** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Póvoa de Varzim



**Figura A6.2** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Póvoa de Varzim

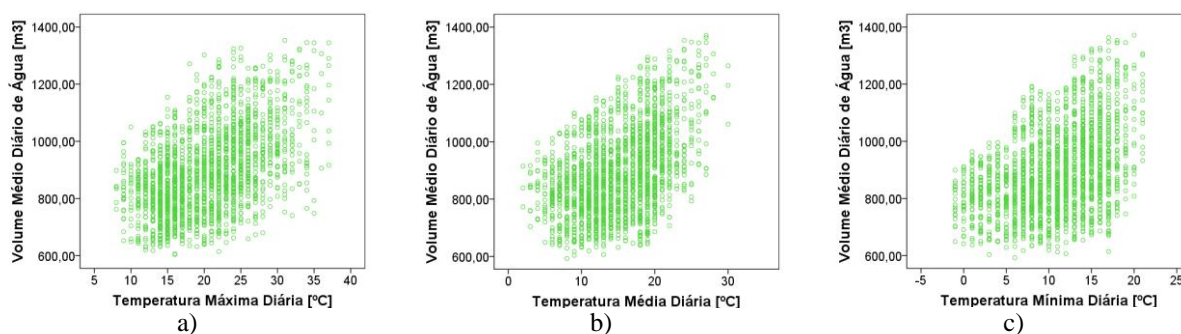


**Figura A6.3** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Póvoa de Varzim

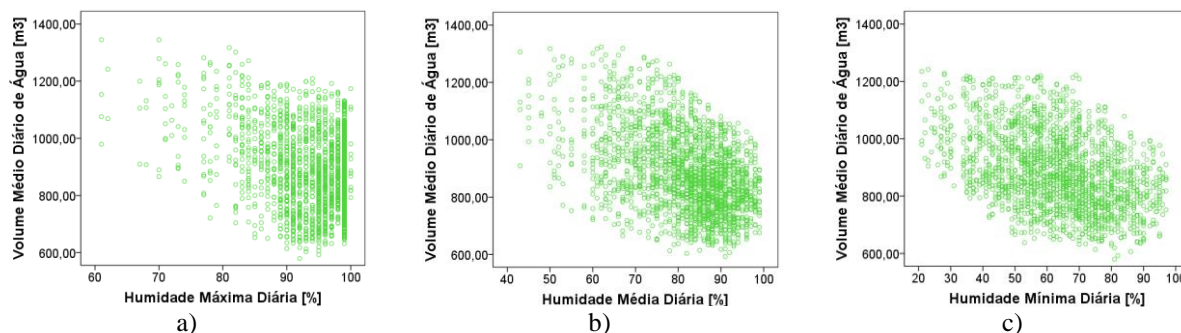
**Tabela A6.1** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Póvoa de Varzim

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,54	0,54	0,37	-0,56	-0,44	-0,28	-0,23
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

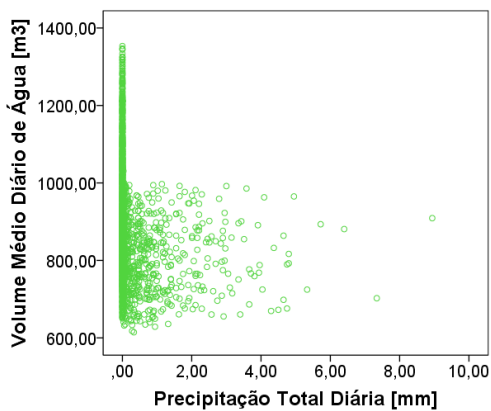
**Barcelos**



**Figura A6.4** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Barcelos



**Figura A6.5** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Barcelos



**Figura A6.6** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Barcelos

**Tabela A6.2** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Barcelos

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,54	0,44	0,40	-0,26	-0,43	-0,41	-0,41
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Vila Nova de Famalicão

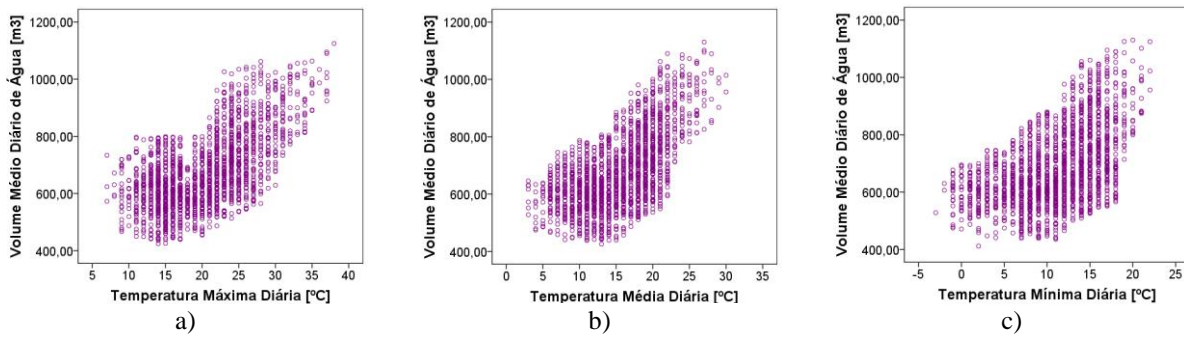


Figura A6.7 Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Vila Nova de Famalicão

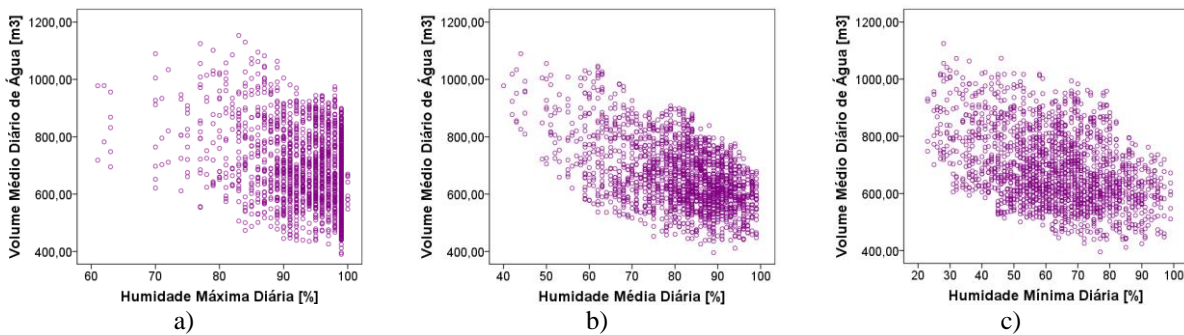


Figura A6.8 Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Vila Nova de Famalicão

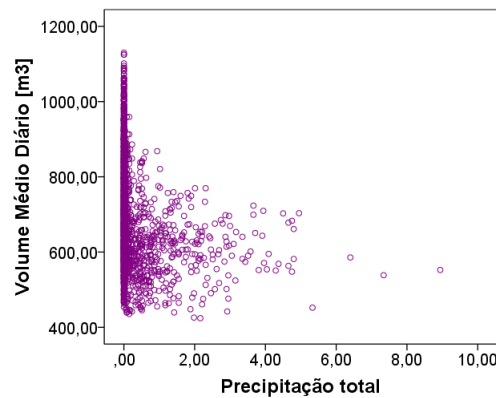


Figura A6.9 Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Vila Nova de Famalicão

Tabela A6.3 Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Vila Nova de Famalicão

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,58	0,60	0,52	-0,32	-0,43	-0,36	-0,37
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Vila do Conde

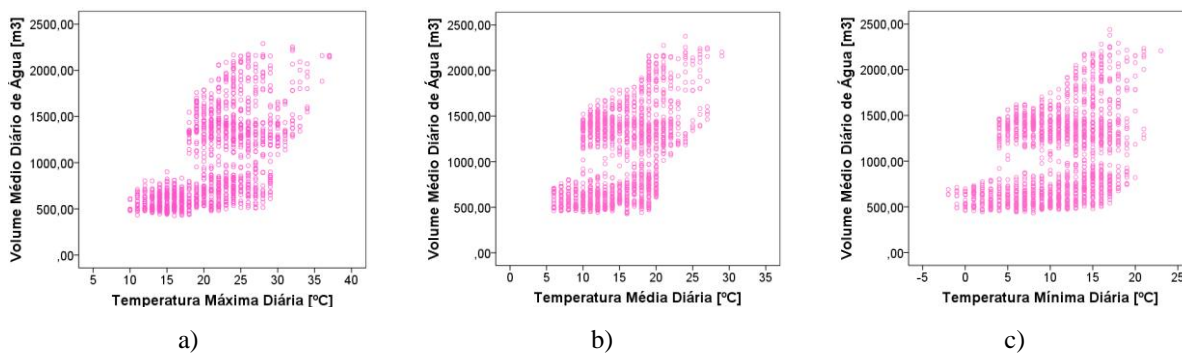


Figura A6.10 Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Vila do Conde

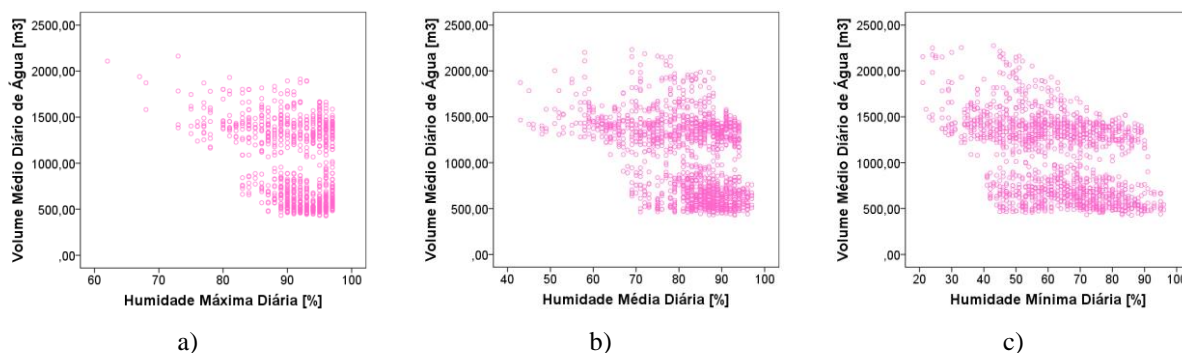


Figura A6.11 Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Vila do Conde

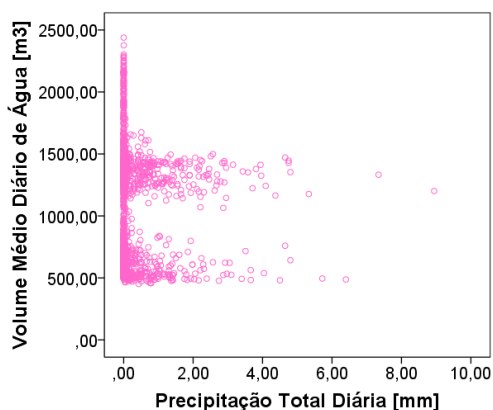
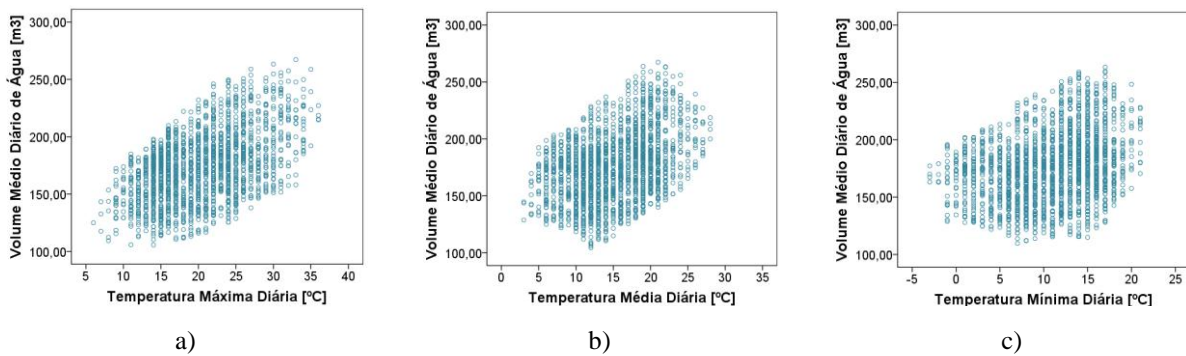


Figura A6.12 Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Póvoa de Vila do Conde

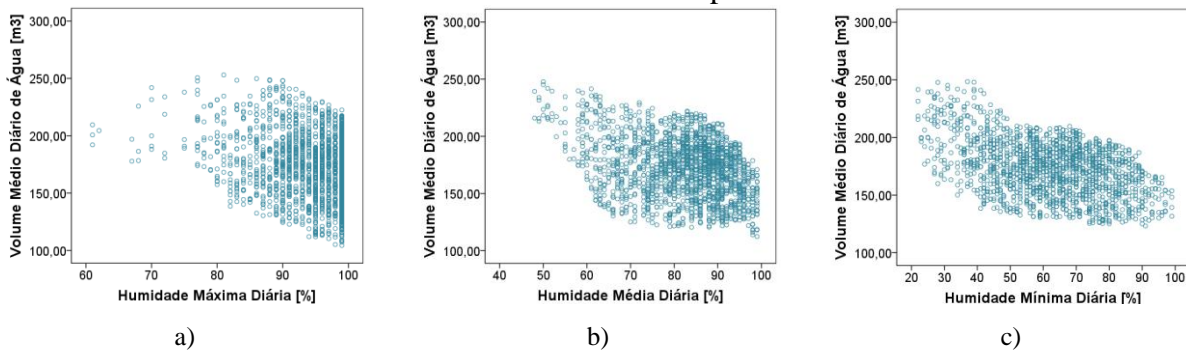
Tabela A6.4 Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Vila do Conde

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,63	0,43	0,33	-0,31	-0,40	-0,41	-0,17
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

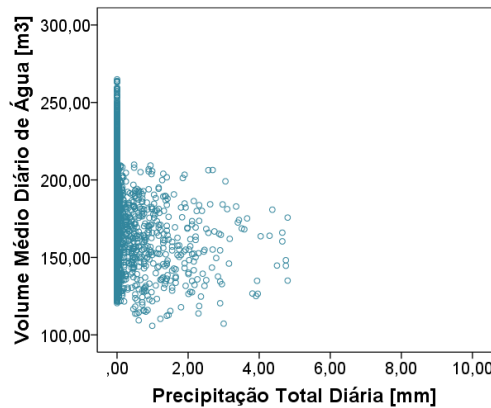
**Santo Tirso**



**Figura A6.13** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Santo Tirso



**Figura A6.14** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Santo Tirso

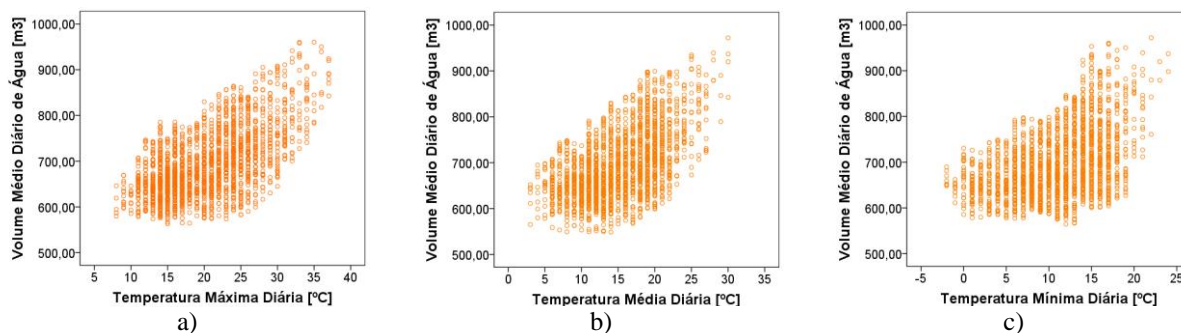


**Figura A6.15** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Póvoa de Santo Tirso

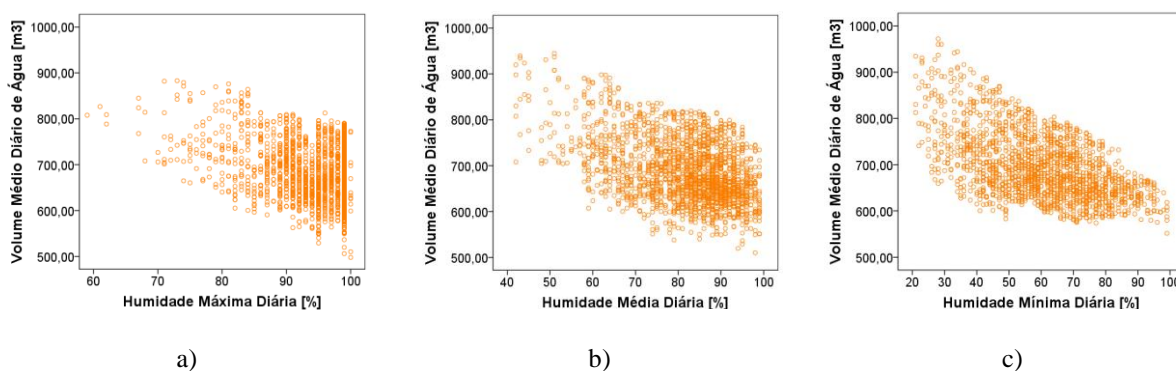
**Tabela A6.5** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Santo Tirso

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,46	0,38	0,29	-0,18	-0,29	-0,40	-0,33
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

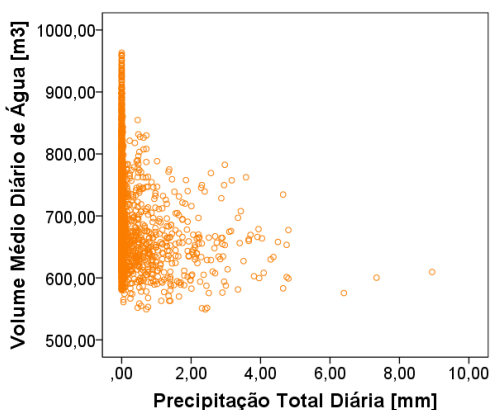
**Trofa**



**Figura A6.16** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Trofa



**Figura A6.17** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios diários no município de Trofa



**Figura A6.18** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios diários no município de Póvoa de Trofa

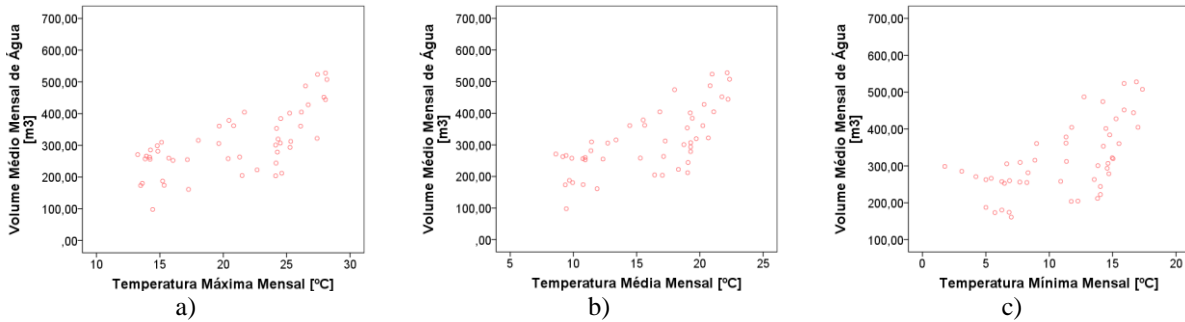
**Tabela A6.6** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação total diária e consumos médios diários, no município de Trofa

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Diário de Água	$\rho$ de Spearman	0,56	0,53	0,44	-0,28	-0,38	-0,41	-0,38
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

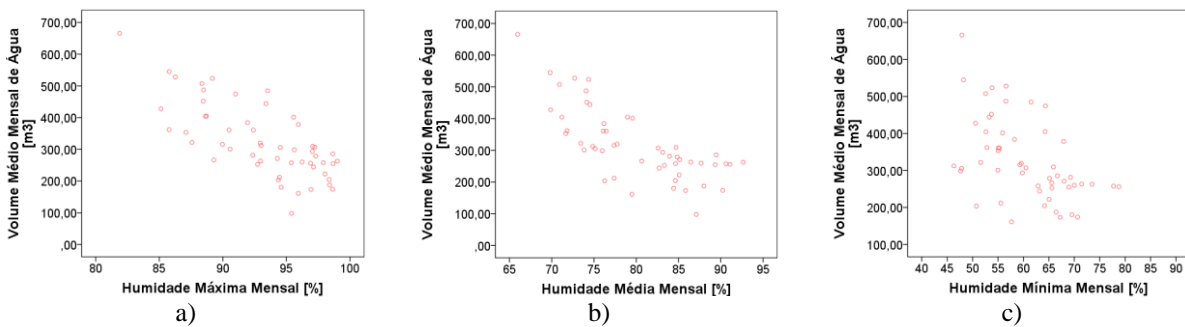
# Anexo VII

## Análise bivariada – correlações mensais

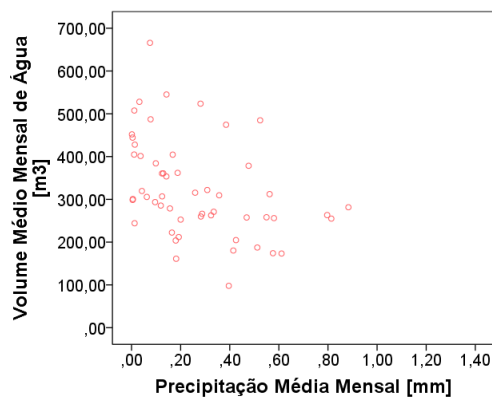
### Póvoa de Varzim



**Figura A7.1** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Póvoa da Varzim

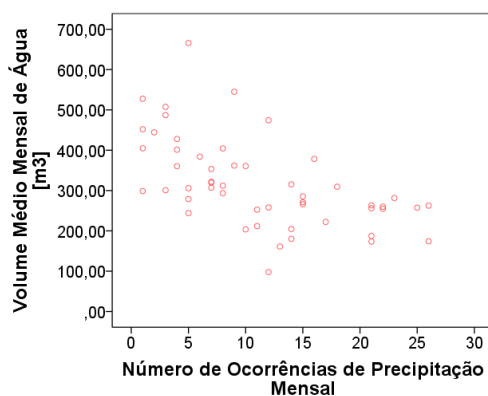


**Figura A7.2** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Póvoa da Varzim



**Figura A7.3** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Póvoa da Varzim



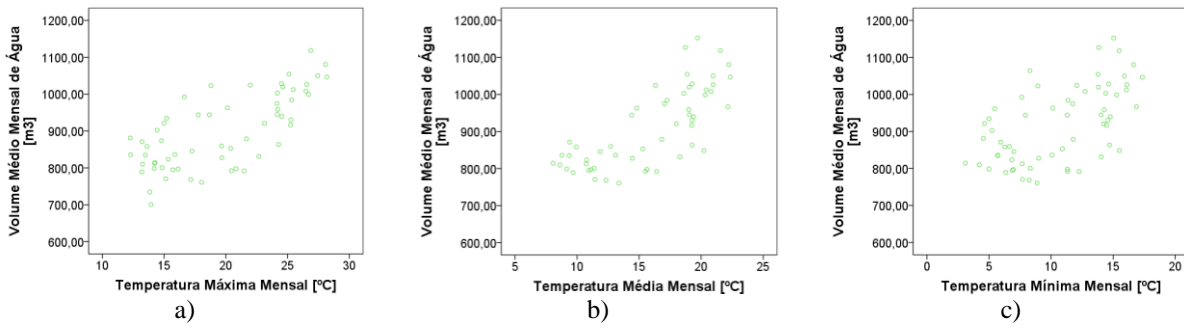


**Figura A7.4** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município da Póvoa de Varzim

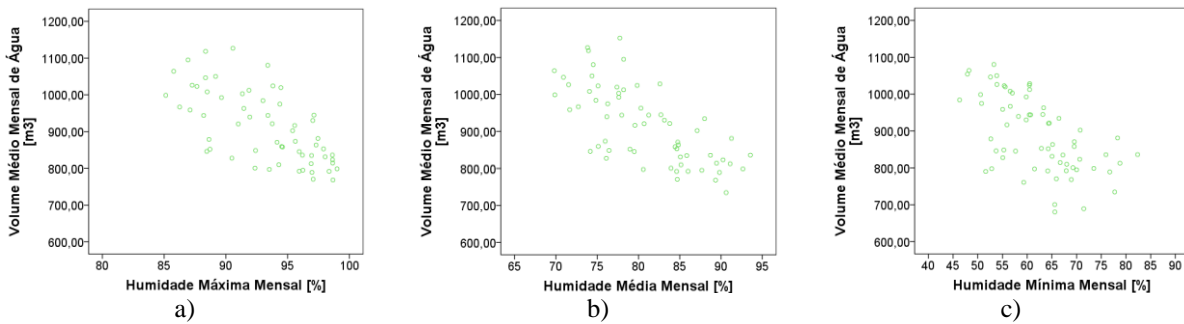
**Tabela A7.1** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município da Póvoa de Varzim

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,68	0,71	0,64	-0,71	-0,76	-0,56	-0,50
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

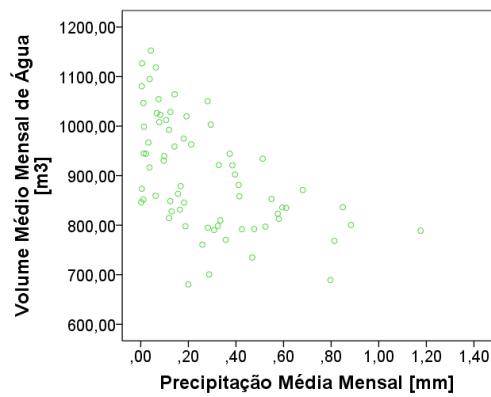
## Barcelos



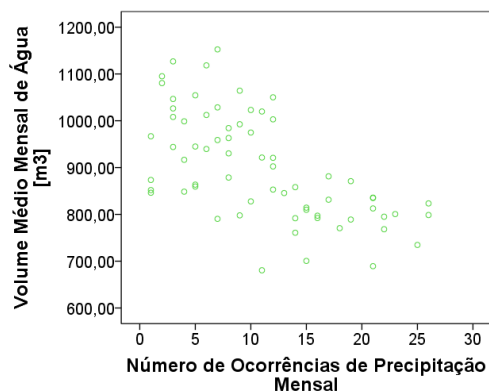
**Figura A7.5** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Barcelos



**Figura A7.6** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Barcelos



**Figura A7.7** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Barcelos

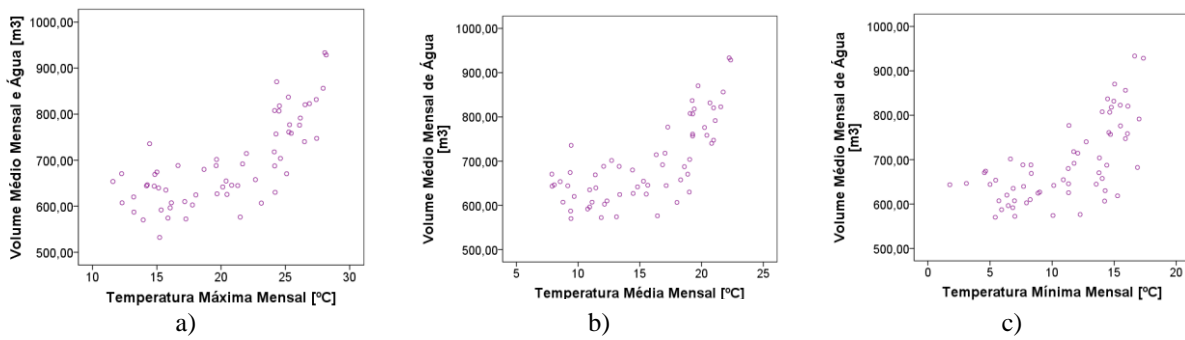


**Figura A7.8** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensais e consumos médios mensais no município de Barcelos

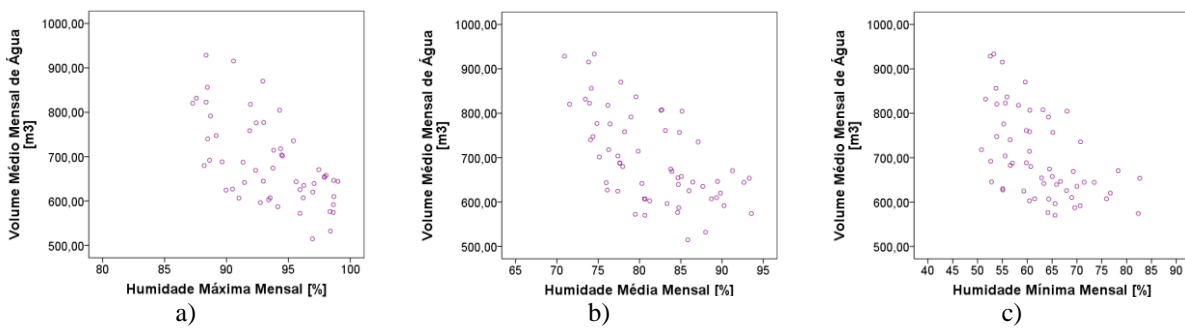
**Tabela A7.2** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município de Barcelos

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,69	0,74	0,56	-0,67	-0,71	-0,59	-0,61
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

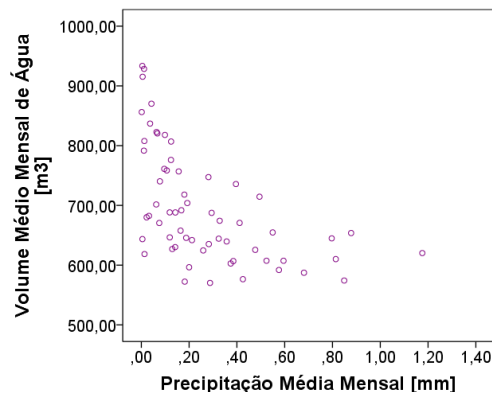
### Vila Nova de Famalicão



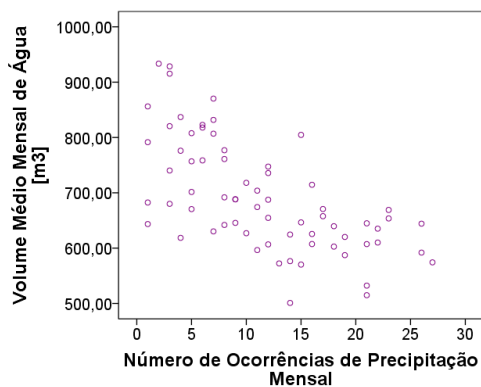
**Figura A7.9** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Vila Nova de Famalicão



**Figura A7.10** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Vila Nova de Famalicão



**Figura A7.11** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Vila Nova de Famalicão

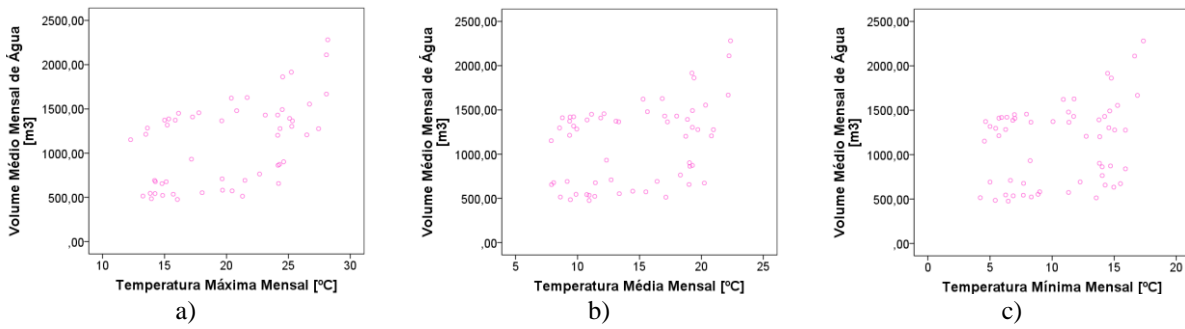


**Figura A7.12** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município de Vila Nova de Famalicão

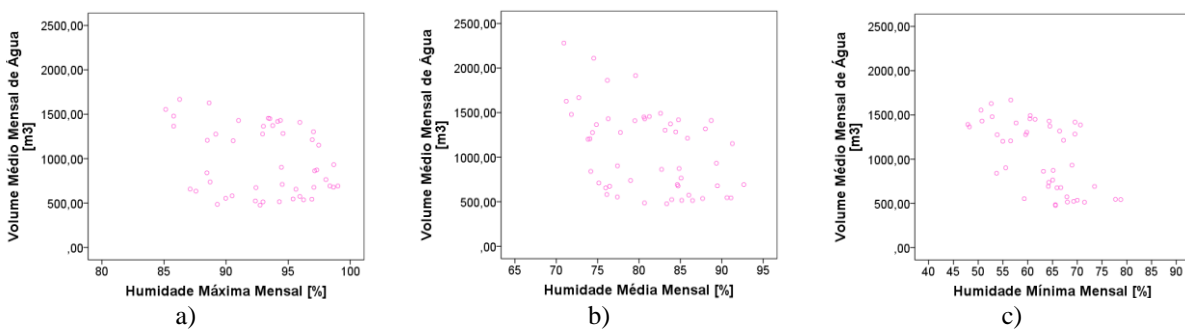
**Tabela A7.3** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município de Vila Nova de Famalicão

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,73	0,73	0,67	-0,60	-0,60	-0,58	-0,67
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

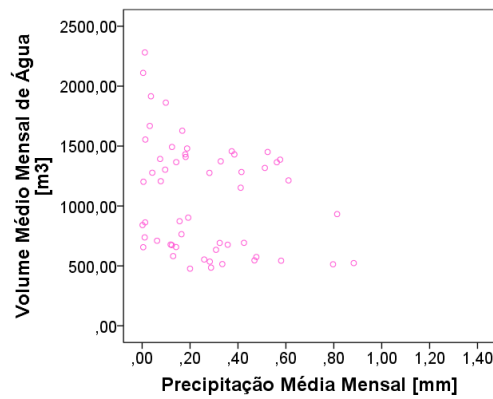
### Vila do Conde



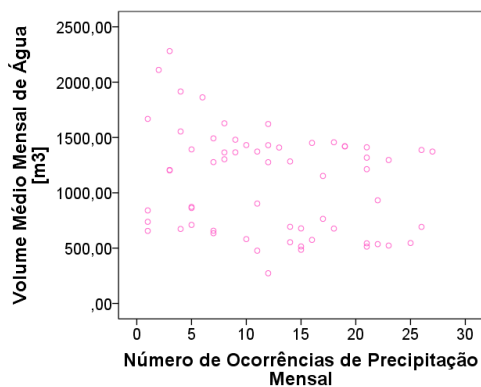
**Figura A7.13** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Vila do Conde



**Figura A7.14** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Vila do Conde



**Figura A7.15** Diagramas de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Vila do Conde

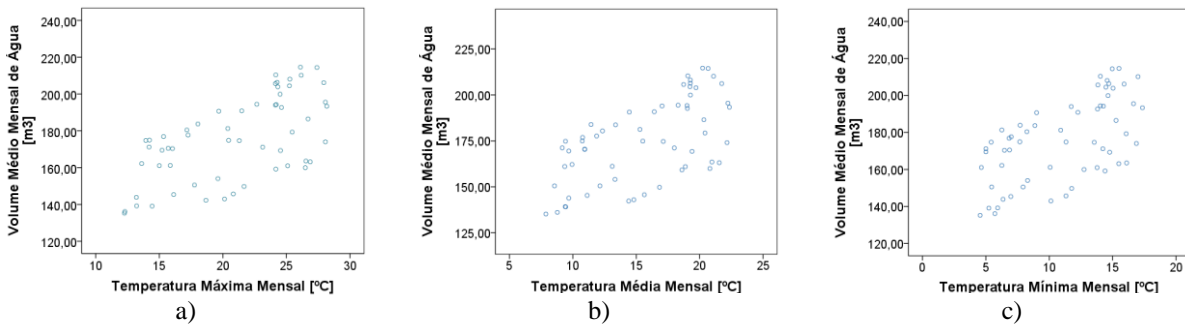


**Figura A7.16** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município de Vila do Conde

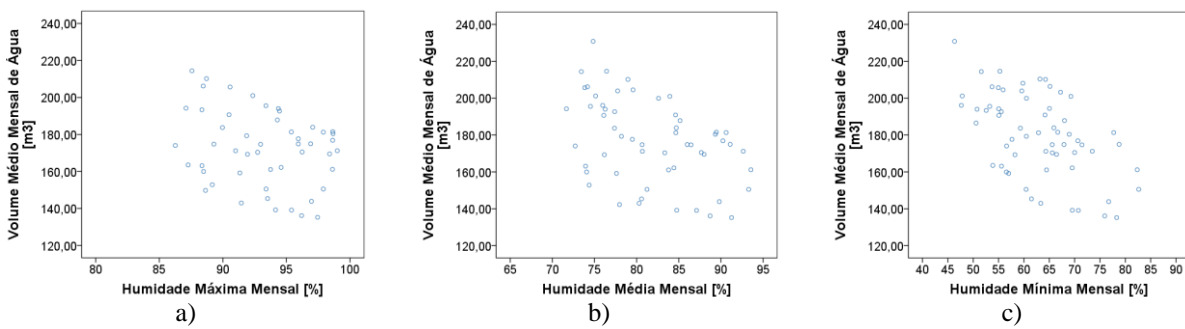
**Tabela A7.4** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município de Vila do Conde

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,53	0,36	0,27	-0,20	-0,43	-0,57	-0,30
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

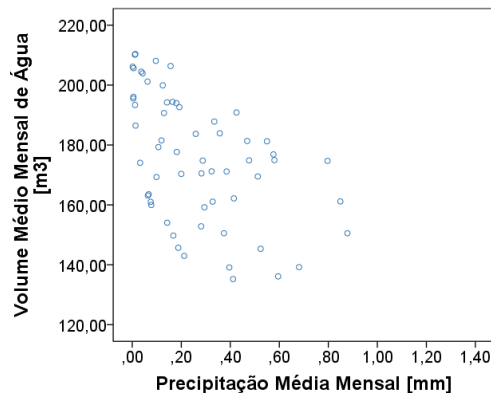
**Santo Tirso**



**Figura A7.17** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Santo Tirso

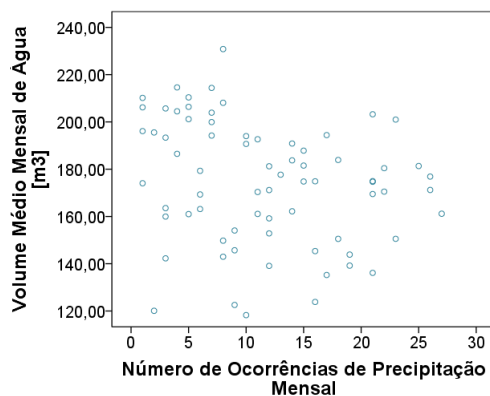


**Figura A7.18** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Santo Tirso



**Figura A7.19** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Santo Tirso



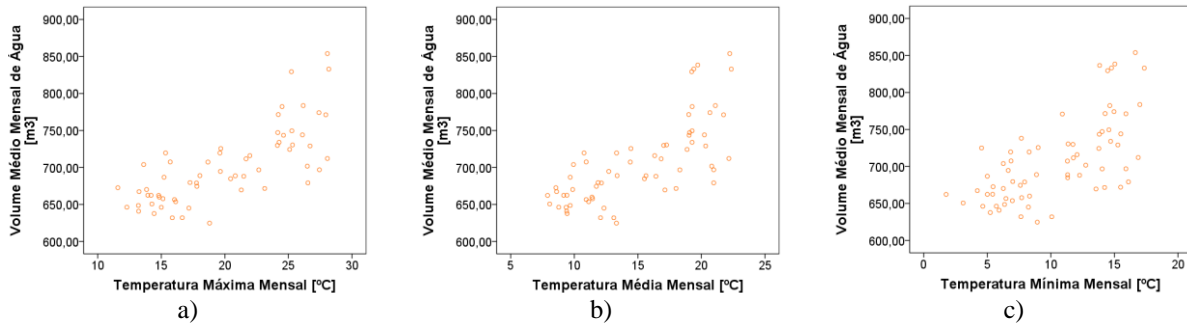


**Figura A7.20** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município de Santo Tirso

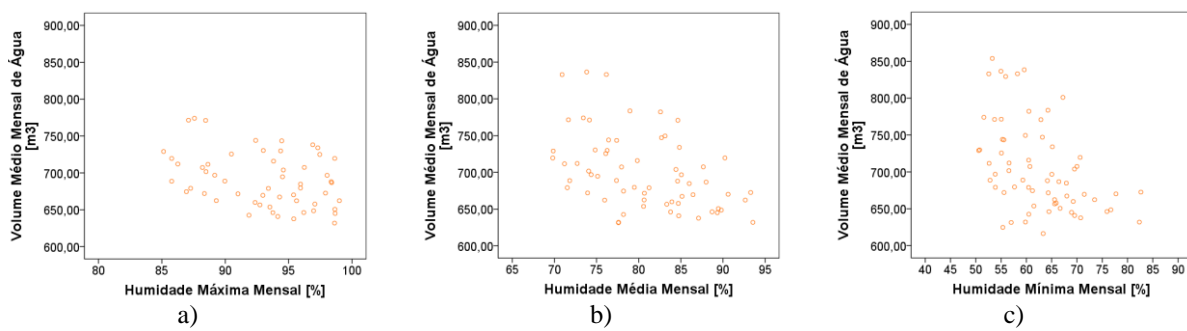
**Tabela A7.5** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município de Santo Tirso

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,57	0,59	0,59	-0,20	-0,42	-0,51	-0,56
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

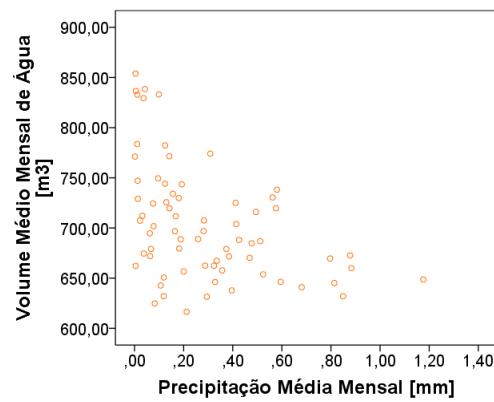
## Trofa



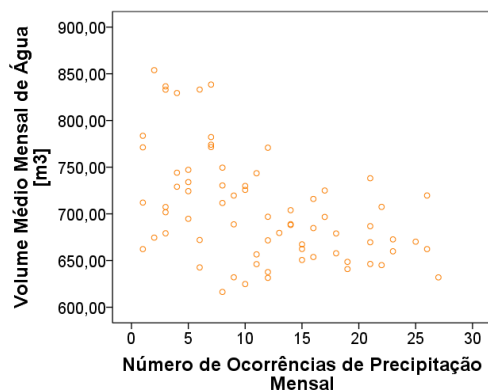
**Figura A7.21** Diagramas de dispersão da temperatura: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Trofa



**Figura A7.22** Diagramas de dispersão da humidade: a) máxima, b) média, c) mínima e consumos médios mensais no município de Trofa



**Figura A7.23** Diagrama de dispersão da precipitação total diária e consumos médios mensais no município de Trofa



**Figura A724** Diagrama de dispersão do número de precipitações mensal e consumos médios mensais no município da Trofa

**Tabela A7.6** Coeficientes de correlação entre temperaturas e teores de humidade máximos, médios, mínimos diários, precipitação média mensal e consumos médios mensais, no município de Trofa

		Tmax	Tmed	Tmin	Hmax	Hmed	Hmin	Ptotal
Volume Médio Mensal de Água	$\rho$ de Spearman	0,76	0,76	0,66	-0,31	-0,48	-0,51	-0,46
	Valor de Prova (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



# Anexo VIII

## Modelos de Regressão Simples Diários

**Tabela A8.1** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Póvoa de Varzim

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	113,15	9,64	0,55	0,38
T <sub>med</sub>	149,85	10,60	0,54	0,29
T <sub>min</sub>	239,44	8,15	0,37	0,13
H <sub>max</sub>	1318,78	-10,65	0,58	0,34
H <sub>med</sub>	707,84	-4,83	0,46	0,21
H <sub>min</sub>	443,75	-2,00	0,31	0,10
P <sub>total</sub>	361,92	-9,7	0,05	0,003

**Tabela A8.2** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Barcelos

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	613,00	13,02	0,58	0,34
T <sub>med</sub>	702,27	12,86	0,46	0,22
T <sub>min</sub>	765,51	11,75	0,41	0,17
H <sub>max</sub>	1599,26	-7,61	0,35	0,13
H <sub>med</sub>	1365,53	-5,85	0,46	0,21
H <sub>min</sub>	1102,00	-3,39	0,42	0,17
P <sub>total</sub>	905,04	-42,07	0,22	0,05

**Tabela A8.3** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de V. N. Famalicão

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	401,27	13,74	0,63	0,40
T <sub>med</sub>	431,79	16,26	0,63	0,40
T <sub>min</sub>	536,87	13,90	0,52	0,27
H <sub>max</sub>	1374,19	-7,34	0,35	0,12
H <sub>med</sub>	1080,55	-5,11	0,51	0,26
H <sub>min</sub>	883,62	-3,10	0,40	0,16
P <sub>total</sub>	705,07	-43,69	0,24	0,06

**Tabela A8.4** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Vila do Conde

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	-113,16	53,37	0,61	0,37
T <sub>med</sub>	352,25	48,57	0,48	0,23
T <sub>min</sub>	701,05	35,50	0,37	0,14
H <sub>max</sub>	3921,22	-32,27	0,40	0,16
H <sub>med</sub>	2529,48	-17,88	0,42	0,18
H <sub>min</sub>	1802,39	-11,64	0,42	0,18
P <sub>total</sub>	1116,91	-37,79	0,07	0,004

**Tabela A8.5** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Santo Tirso

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	123,48	2,50	0,50	0,25
T <sub>med</sub>	140,70	2,36	0,40	0,16
T <sub>min</sub>	158,34	1,69	0,29	0,08
H <sub>max</sub>	281,05	-1,14	0,24	0,06
H <sub>med</sub>	239,18	-0,81	0,34	0,12
H <sub>min</sub>	213,68	-0,65	0,46	0,21
P <sub>total</sub>	178,96	-11,08	0,25	0,06

**Tabela A8.6** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios diários de água do município de Trofa

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	543,69	7,41	0,61	0,37
T <sub>med</sub>	574,44	8,03	0,55	0,31
T <sub>min</sub>	626,24	6,82	0,46	0,21
H <sub>max</sub>	1017,82	-3,57	0,37	0,13
H <sub>med</sub>	913,41	-2,74	0,45	0,20
H <sub>min</sub>	835,84	-2,33	0,31	0,31
P <sub>total</sub>	712,35	-27,80	0,25	0,06

# Anexo IX

## Modelos de Regressão Simples Mensais

**Tabela A9.1** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Póvoa de Varzim

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	39,46	12,88	0,67	0,45
T <sub>med</sub>	60,39	15,81	0,69	0,48
T <sub>min</sub>	165,84	13,53	0,60	0,37
H <sub>max</sub>	1288,83	-12,04	0,69	0,47
H <sub>med</sub>	1314,54	-12,47	0,74	0,54
H <sub>min</sub>	762,40	-7,17	0,52	0,27
P <sub>total</sub>	378,75	-204,87	0,41	0,17

**Tabela A9.2** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Barcelos

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	615,06	14,445	0,72	0,52
T <sub>med</sub>	617,46	18,51	0,75	0,57
T <sub>min</sub>	762,32	14,64	0,58	0,33
H <sub>max</sub>	2423,05	-16,21	0,66	0,43
H <sub>med</sub>	1837,82	-11,39	0,69	0,48
H <sub>min</sub>	1345,37	-7,32	0,60	0,36
P <sub>total</sub>	966,18	-240,73	0,55	0,30

**Tabela A9.3** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de V. N. Famalicão

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	405,86	14,07	0,75	0,56
T <sub>med</sub>	467,97	14,88	0,73	0,53
T <sub>min</sub>	531,93	14,69	0,67	0,45
H <sub>max</sub>	2257,58	-16,78	0,62	0,39
H <sub>med</sub>	1557,48	-10,54	0,61	0,37
H <sub>min</sub>	1124,21	-6,72	0,54	0,29
P <sub>total</sub>	749,04	-202,28	0,56	0,31

**Tabela A9.4** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Vila do Conde

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	125,06	49,49	0,52	0,27
T <sub>med</sub>	576,77	37,93	0,38	0,15
T <sub>min</sub>	788,76	32,59	0,29	0,08
H <sub>max</sub>	3639,12	-28,63	0,29	0,09
H <sub>med</sub>	3942,84	-35,28	0,45	0,20
H <sub>min</sub>	2967,95	-30,72	0,59	0,35
P <sub>total</sub>	1231,58	-599,68	0,29	0,09

**Tabela A9.5** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Santo Tirso

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	116,77	2,81	0,62	0,38
T <sub>med</sub>	128,03	3,03	0,61	0,37
T <sub>min</sub>	140,06	3,25	0,60	0,36
H <sub>max</sub>	305,30	-1,43	0,27	0,07
H <sub>med</sub>	307,30	-1,60	0,44	0,19
H <sub>min</sub>	266,97	-1,38	0,54	0,29
P <sub>total</sub>	188,27	-47,58	0,51	0,23

**Tabela A9.6** Parâmetros dos modelos de regressão linear simples aplicados aos consumos médios mensais de água do município de Trofa

Variável independente	Parâmetros do modelo		R	R <sup>2</sup>
	$\beta_0$	$\beta_1$		
T <sub>max</sub>	550,56	7,51	0,75	0,56
T <sub>med</sub>	570,99	8,97	0,74	0,54
T <sub>min</sub>	616,03	8,86	0,66	0,43
H <sub>max</sub>	978,80	-3,10	0,35	0,12
H <sub>med</sub>	991,70	-3,61	0,46	0,21
H <sub>min</sub>	934,08	-3,66	0,46	0,21
P <sub>total</sub>	732,48	-99,64	0,45	0,21



# Anexo X

## Modelos de Projeção de Consumos Diários de Água

**Tabela A10.1** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município da Póvoa de Varzim

MPCAd - Póvoa de Varzim												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância					Multicolinearidade		Autocorrelação		
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	624,97	0,38	0,38	77,97	126,40	0,00	16,92	0,00	-	-	0,34
$T_{\max,d}$	1	2,54						1,69	0,09	0,05	19,58	
$T_{\text{med},d}$	2	9,26						4,13	0,00	0,03	32,17	
$T_{\min,d}$	3	-4,25						-3,59	0,00	0,11	9,21	
$H_{\max,d}$	4	-6,10						-9,56	0,00	0,23	4,29	
$H_{\text{med},d}$	5	1,22						1,62	0,11	0,06	17,75	
$H_{\min,d}$	6	0,24						0,55	0,59	0,08	12,96	
$P_{\text{total},d}$	7	-12,09						-3,83	0,00	0,82	1,21	

**Tabela A10.2** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Barcelos

MPCAd - Barcelos												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância					Multicolinearidade		Autocorrelação		
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	967,98	0,31	0,31	115,52	127,65	0,00	22,55	0,00	-	-	0,85
$T_{\max,d}$	1	10,12						5,55	0,00	0,05	18,49	
$T_{\text{med},d}$	2	-2,61						-0,95	0,34	0,03	31,15	
$T_{\min,d}$	3	1,39						0,93	0,35	0,11	9,27	
$H_{\max,d}$	4	-0,03						-0,03	0,97	0,21	4,68	
$H_{\text{med},d}$	5	-4,09						-4,34	0,00	0,05	18,62	
$H_{\min,d}$	6	1,21						2,27	0,02	0,08	12,54	
$P_{\text{total},d}$	7	-7,69						-2,04	0,04	0,80	1,24	

**Tabela A10.3** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de V. N. de Famalicão

MPCAd – V.N. de Famalicão												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	613,86	0,40	0,40	98,88	179,76	0,00	16,01	0,00	-	-	0,83
$T_{max,d}$	1	8,59						5,37	0,00	0,05	18,44	
$T_{med,d}$	2	5,76						2,24	0,03	0,03	35,17	
$T_{min,d}$	3	-2,82						-1,88	0,06	0,08	11,88	
$H_{max,d}$	4	-0,65						-0,93	0,35	0,21	4,72	
$H_{med,d}$	5	-1,81						-2,19	0,03	0,05	18,26	
$H_{min,d}$	6	0,72						1,55	0,12	0,08	12,23	
$P_{total,d}$	7	-9,78						-2,97	0,00	0,80	1,25	

**Tabela A10.4** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Vila do Conde

MPCAd - Barcelos												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	784,65	0,28	0,27	375,26	76,01	0,00	4,43	0,00	-	-	0,18
$T_{max,d}$	1	8,12						1,07	0,29	0,06	17,55	
$T_{med,d}$	2	-0,67						-0,06	0,95	0,04	27,71	
$T_{min,d}$	3	23,75						4,11	0,00	0,13	7,81	
$H_{max,d}$	4	13,55						4,49	0,00	0,24	4,10	
$H_{med,d}$	5	-15,87						-4,30	0,00	0,06	15,54	
$H_{min,d}$	6	-2,44						-1,12	0,26	0,09	11,51	
$P_{total,d}$	7	1,34						0,08	0,93	0,84	1,18	

**Tabela A10.5** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Santo Tirso

MPCAd – Santo Tirso												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	135,49	0,21	0,21	23,51	70,56	0,00	14,19	0,00	-	-	0,87
$T_{max,d}$	1	1,51						3,94	0,00	0,06	18,17	
$T_{med,d}$	2	0,18						0,30	0,76	0,03	30,95	
$T_{min,d}$	3	0,00						0,00	1,00	0,11	9,42	
$H_{max,d}$	4	0,08						0,46	0,64	0,22	4,65	
$H_{med,d}$	5	0,22						1,12	0,26	0,05	18,60	
$H_{min,d}$	6	-0,31						-2,72	0,01	0,08	12,53	
$P_{total,d}$	7	-2,43						-3,00	0,00	0,81	1,24	

**Tabela A10.6** Modelos de projeção de consumos médios diários de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município da Trofa

MPCAd – Trofa												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	650,18	0,35	0,35	54,64	142,48	0,00	31,32	0,00	-	-	1,10
$T_{max,d}$	1	4,33						4,88	0,00	0,06	18,15	
$T_{med,d}$	2	1,36						0,99	0,32	0,03	31,29	
$T_{min,d}$	3	-0,35						-0,46	0,65	0,10	9,78	
$H_{max,d}$	4	0,23						0,60	0,55	0,20	4,91	
$H_{med,d}$	5	-1,07						-2,34	0,02	0,05	19,07	
$H_{min,d}$	6	0,08						0,29	0,77	0,08	12,66	
$P_{total,d}$	7	-5,07						-2,72	0,01	0,79	1,26	



# Anexo XI

## Modelos de Projeção de Consumos Mensais de Água

**Tabela A11.1** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município da Póvoa de Varzim

MPCAm - Póvoa de Varzim												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância					Multicolinearidade		Autocorrelação		
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	1110,06	0,69	0,63	58,42	12,14	0,00	2,87	0,01			0,81
$T_{max,m}$	1	3,44						0,13	0,90	0,00	238,07	
$T_{med,m}$	2	25,97						0,71	0,48	0,00	357,02	
$T_{min,m}$	3	-19,97						-1,18	0,24	0,02	61,58	
$H_{max,m}$	4	-14,20						-1,61	0,12	0,06	16,79	
$H_{med,m}$	5	1,38						0,10	0,92	0,01	102,15	
$H_{min,m}$	6	2,62						0,29	0,77	0,01	67,58	
$P_{total,m}$	7	-29,50						-0,54	0,59	0,45	2,21	

**Tabela A11.2** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Barcelos

MPCAm - Barcelos												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância					Multicolinearidade		Autocorrelação		
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	1040,73	0,79	0,75	46,10	18,20	0,00	3,34	0,00			1,28
$T_{max,m}$	1	46,12						2,14	0,04	0,00	234,31	
$T_{med,m}$	2	-46,41						-1,54	0,13	0,00	353,07	
$T_{min,m}$	3	8,16						0,63	0,53	0,02	51,59	
$H_{max,m}$	4	4,36						0,61	0,55	0,07	14,09	
$H_{med,m}$	5	-21,21						-2,05	0,05	0,01	80,61	
$H_{min,m}$	6	13,85						2,08	0,05	0,02	52,19	
$P_{total,m}$	7	-34,78						-0,84	0,41	0,39	2,56	

**Tabela A11.3** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de V. N. de Famalicão

MPCAm – V. N. de Famalicão												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	267,84	0,70	0,64	52,90	11,57	0,00	0,72	0,48	0,01	157,22	1,40
$T_{\max,m}$	1	36,94						1,81	0,08			
$T_{\text{med},m}$	2	-30,00						-1,06	0,30			
$T_{\min,m}$	3	0,23						0,02	0,99			
$H_{\max,m}$	4	14,58						1,92	0,06			
$H_{\text{med},m}$	5	-29,78						-2,79	0,01			
$H_{\min,m}$	6	19,43						2,97	0,01			
$P_{\text{total},m}$	7	-112,31						-2,43	0,02			

**Tabela A11.4** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Vila do Conde

MPCAm – Vila do Conde												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	686,43	0,54	0,41	306,20	4,30	0,00	0,28	0,78	0,00	215,25	0,78
$T_{\max,m}$	1	306,82						1,85	0,08			
$T_{\text{med},m}$	2	-407,63						-1,80	0,08			
$T_{\min,m}$	3	84,70						0,85	0,40			
$H_{\max,m}$	4	92,60						1,50	0,15			
$H_{\text{med},m}$	5	-165,02						-1,68	0,10			
$H_{\min,m}$	6	65,20						1,05	0,30			
$P_{\text{total},m}$	7	291,79						0,83	0,42			

**Tabela A11.5** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município de Santo Tirso

MPCAm – Santo Tirso												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	222,67	0,57	0,47	14,33	5,58	0,00	1,90	0,07	0,00	300,83	0,85
$T_{max,m}$	1	-18,85						-2,35	0,03			
$T_{med,m}$	2	15,75						1,64	0,11			
$T_{min,m}$	3	6,16						1,50	0,14			
$H_{max,m}$	4	-3,27						-1,48	0,15			
$H_{med,m}$	5	9,73						2,79	0,01			
$H_{min,m}$	6	-6,99						-3,11	0,00			
$P_{total,m}$	7	-59,44						-2,86	0,01			

**Tabela A11.6** Modelos de projeção de consumos médios mensais de água, respetivos coeficientes e resultados estatísticos relativos ao município da Trofa

MPCAm – Trofa												
Variável independente	i	$\beta_i$	ANOVA - Análise de Variância						Multicolinearidade		Autocorrelação	
			$R^2$	$R_a^2$	SEE	F	P (F-test)	t	P (t-test)	Tol	VIF	DW
-	0	655,08	0,57	0,50	26,03	7,52	0,00	4,29	0,00	0,01	176,83	1,34
$T_{max,m}$	1	-5,42						-0,54	0,59			
$T_{med,m}$	2	10,63						0,73	0,47			
$T_{min,m}$	3	-0,85						-0,12	0,91			
$H_{max,m}$	4	-0,14						-0,04	0,97			
$H_{med,m}$	5	2,62						0,48	0,63			
$H_{min,m}$	6	-3,11						-0,91	0,37			
$P_{total,m}$	7	-20,54						-0,93	0,36			

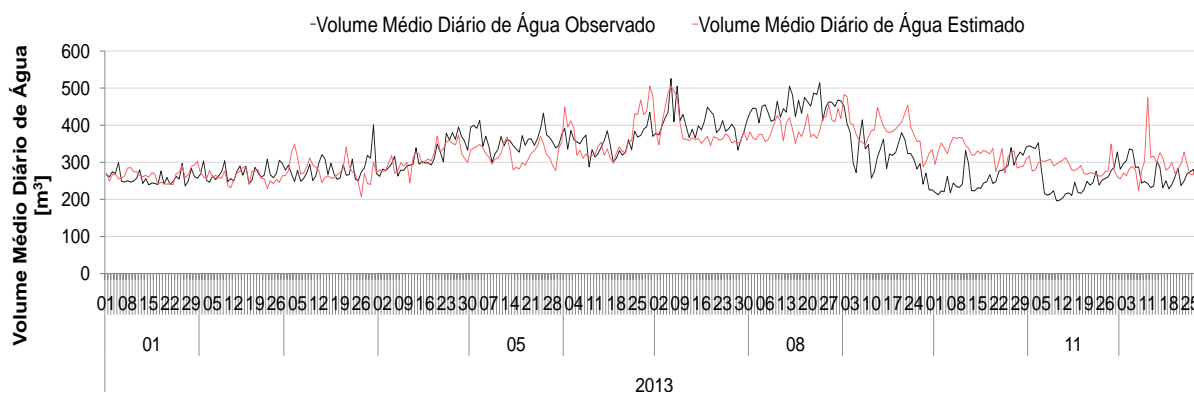




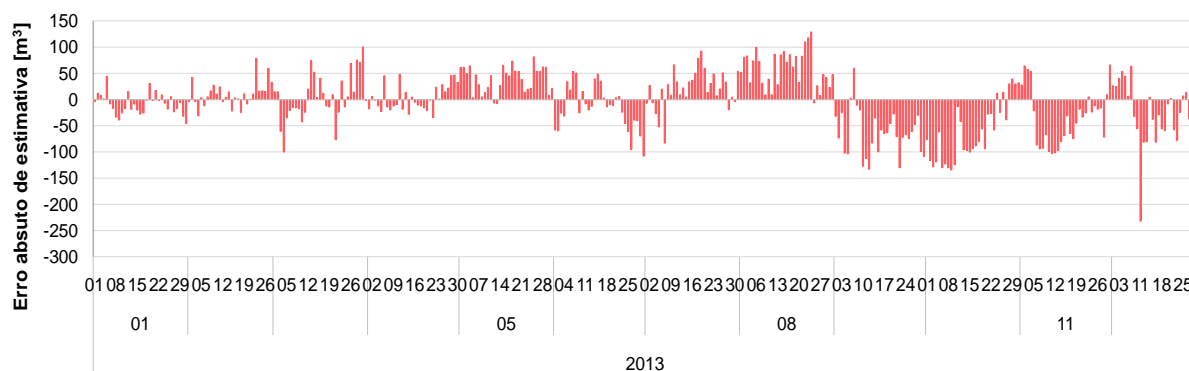
# Anexo XII

## Validação dos Modelos de Projeção de Consumos Médios Diários de Água

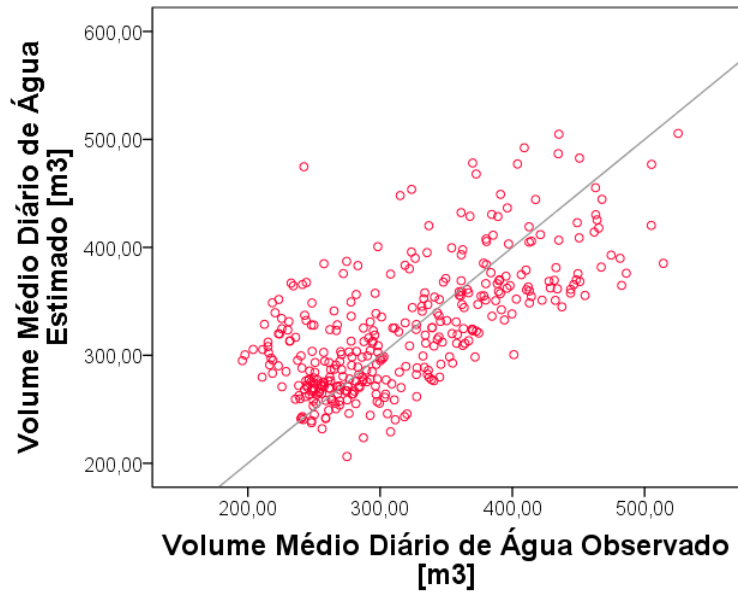
### Póvoa de Varzim



**Figura A12.1** Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Póvoa de Varzim

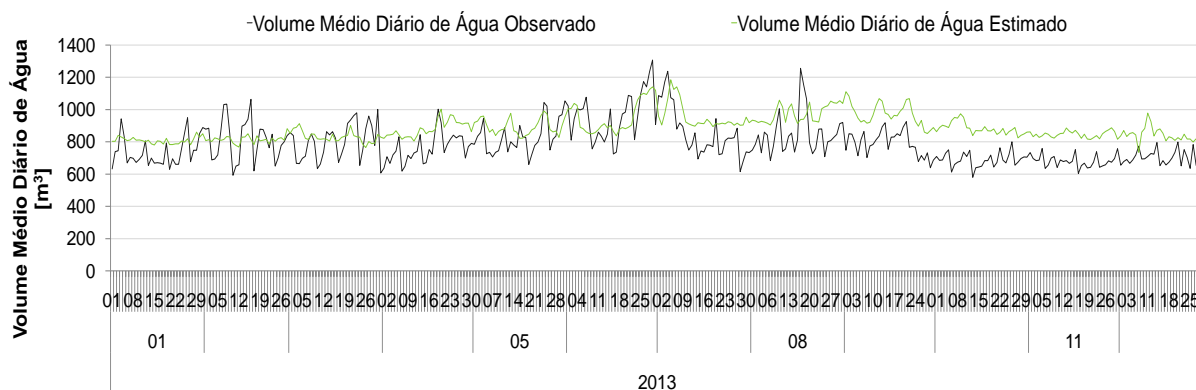


**Figura A12.2** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de Póvoa de Varzim

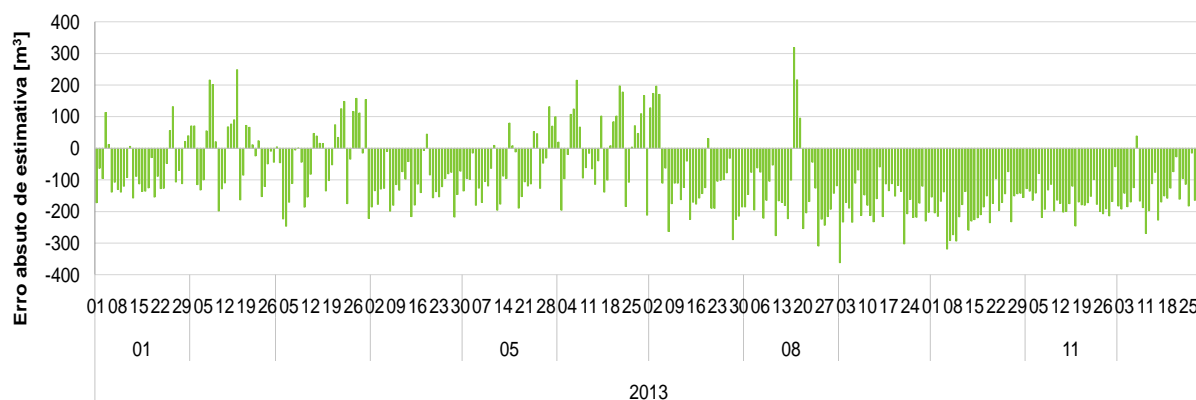


**Figura A12.3** Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município da Póvoa de Varzim

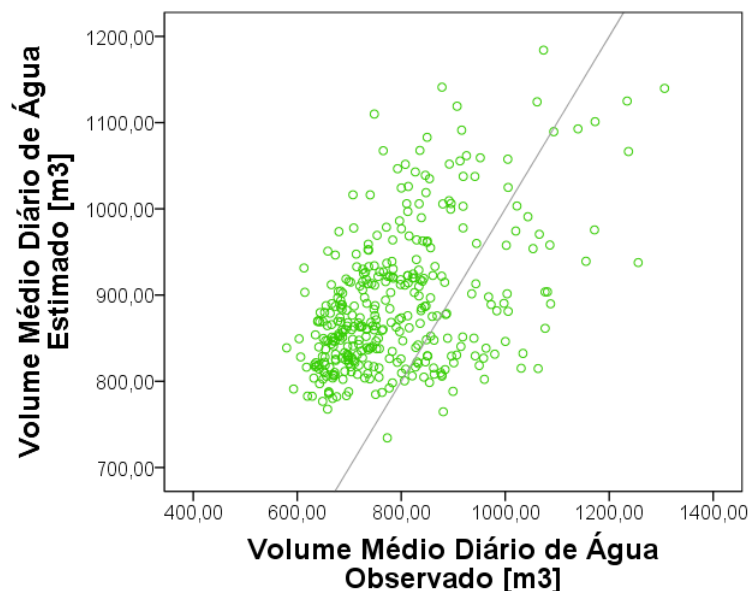
**Barcelos**



**Figura A12.3** Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Barcelos

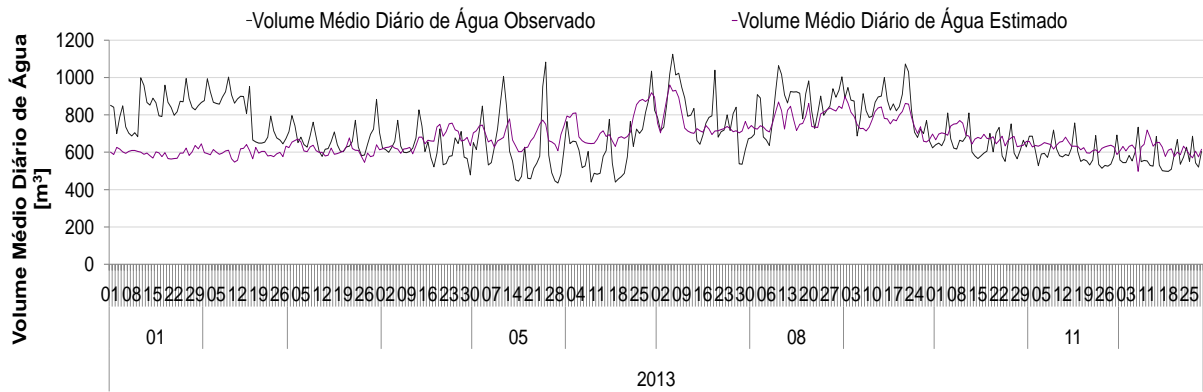


**Figura A12.4** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de Barcelos

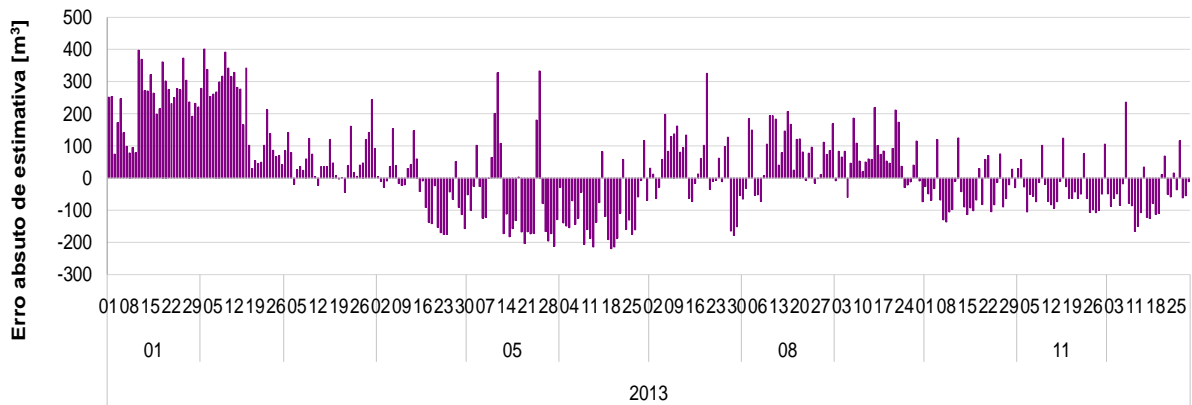


**Figura A12.5** Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município da Barcelos

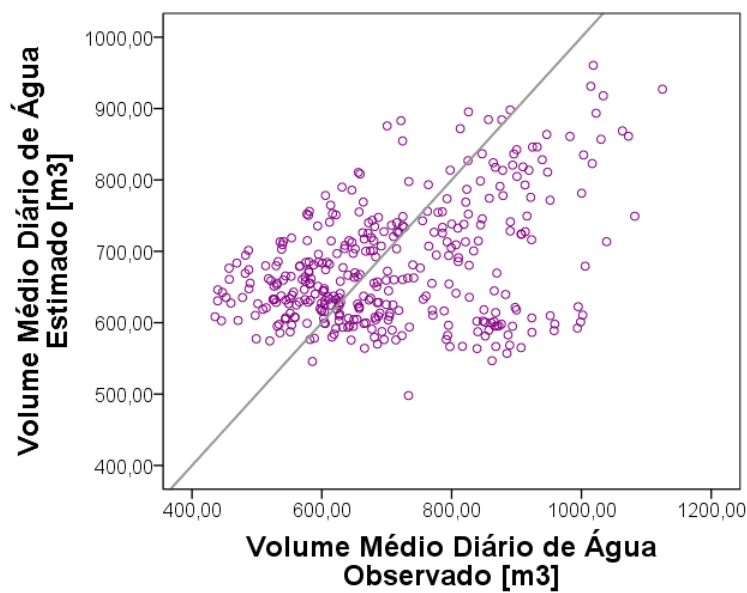
**V. N. de Famalicão**



**Figura A12.6** Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de V. N. de Famalicão



**Figura A12.7** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de V. N. de Famalicão



**Figura A12.8** Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município da V. N. de Famalicão

Vila do Conde

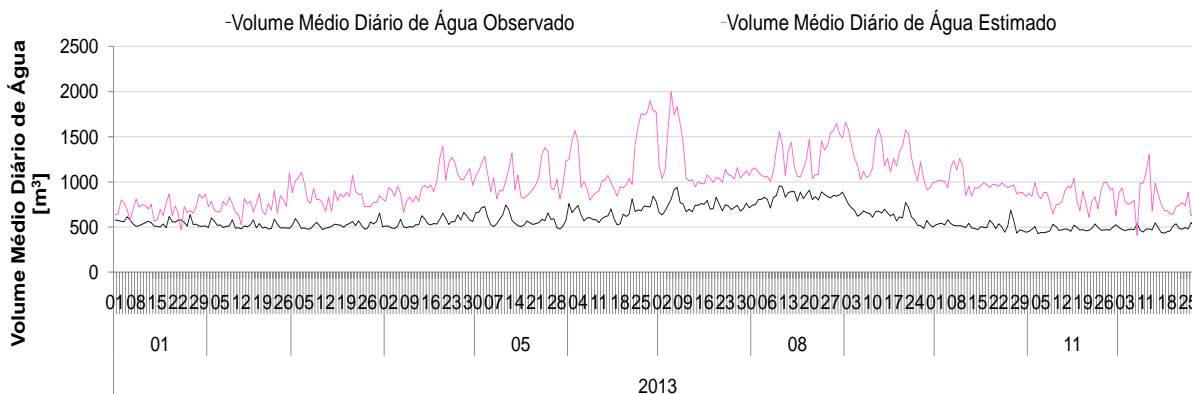


Figura A12.9 Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Vila do Conde

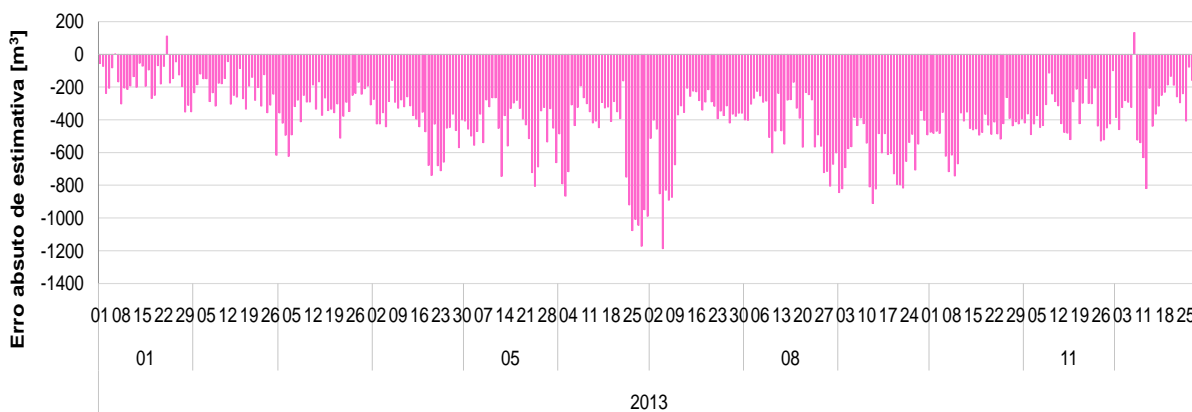


Figura A12.10 Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município de Vila do Conde

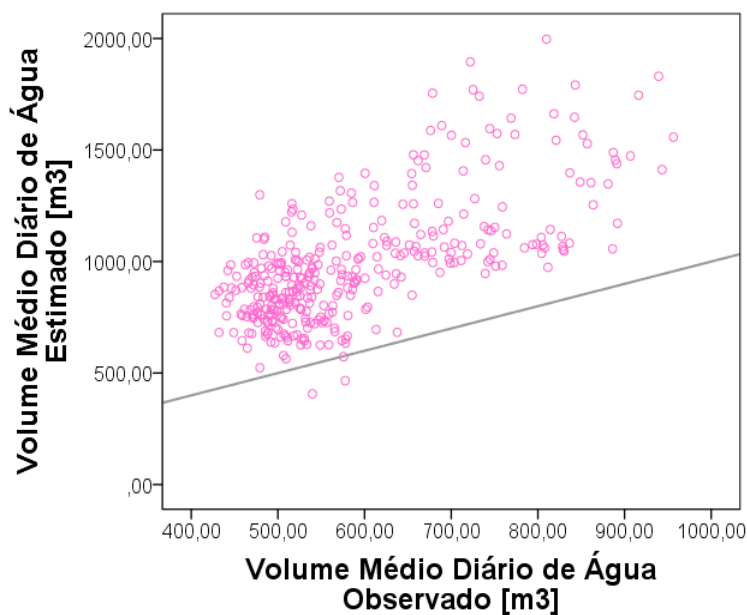


Figura A12.11 Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município da V Vila do Conde

### Santo Tirso

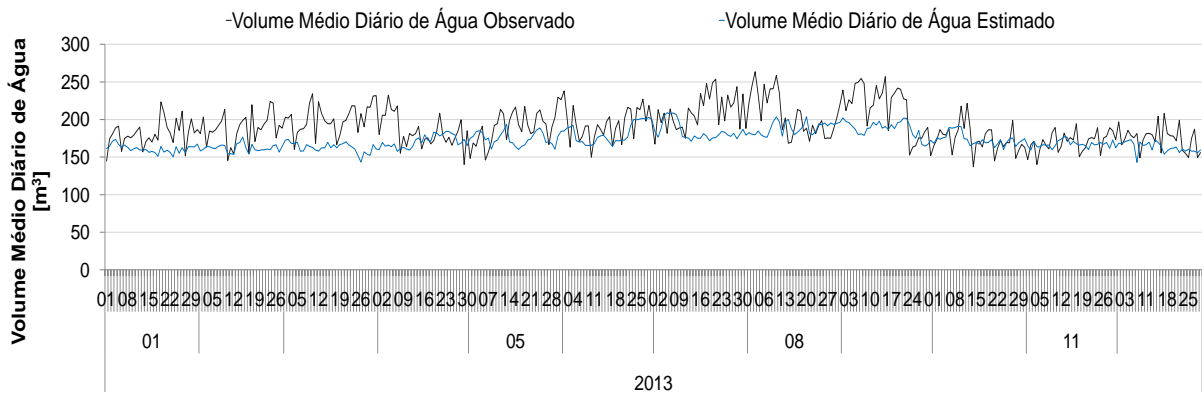


Figura A12.12 Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município de Santo Tirso

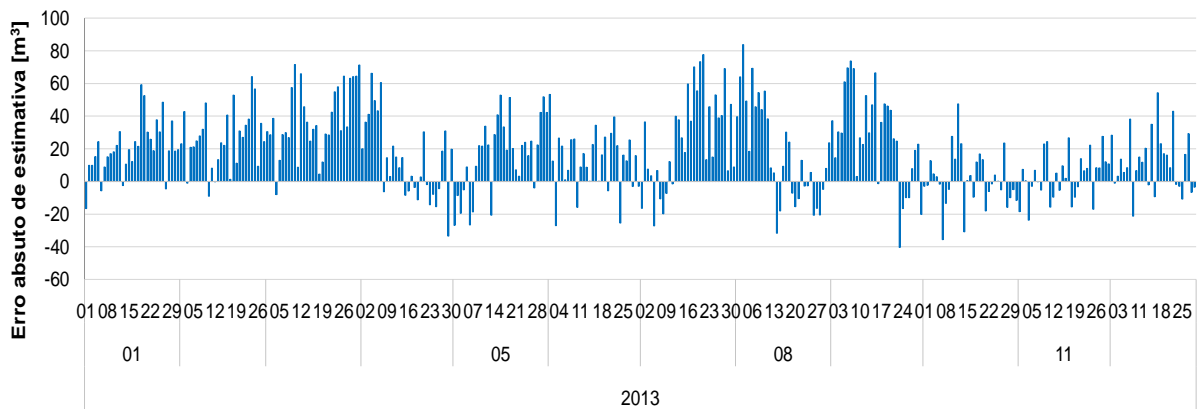


Figura A12.13 Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAD do município de Santo Tirso

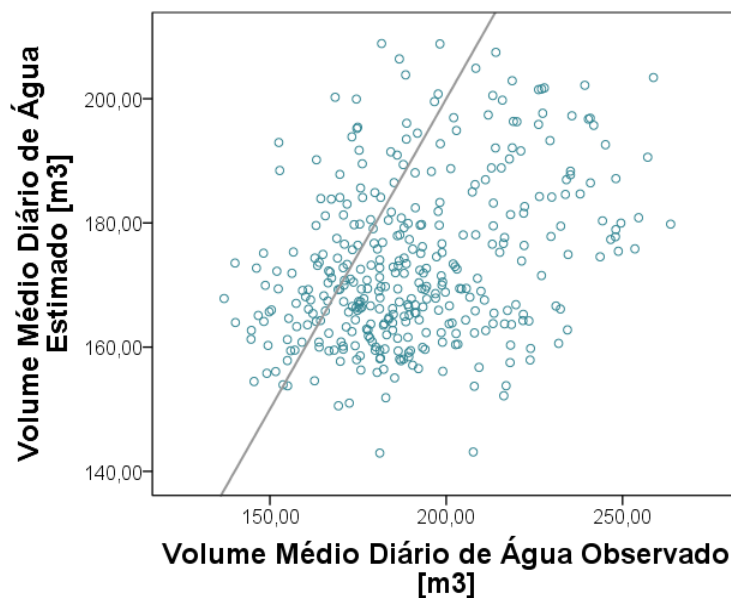
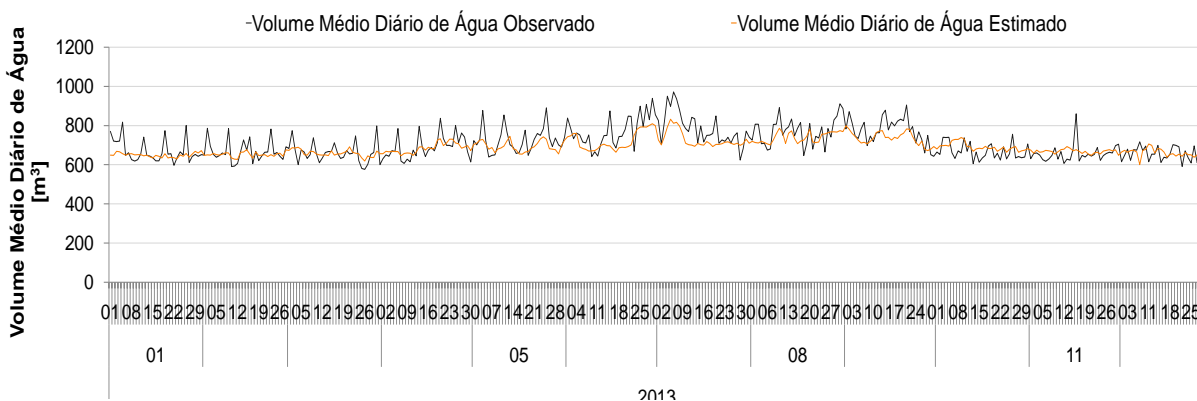
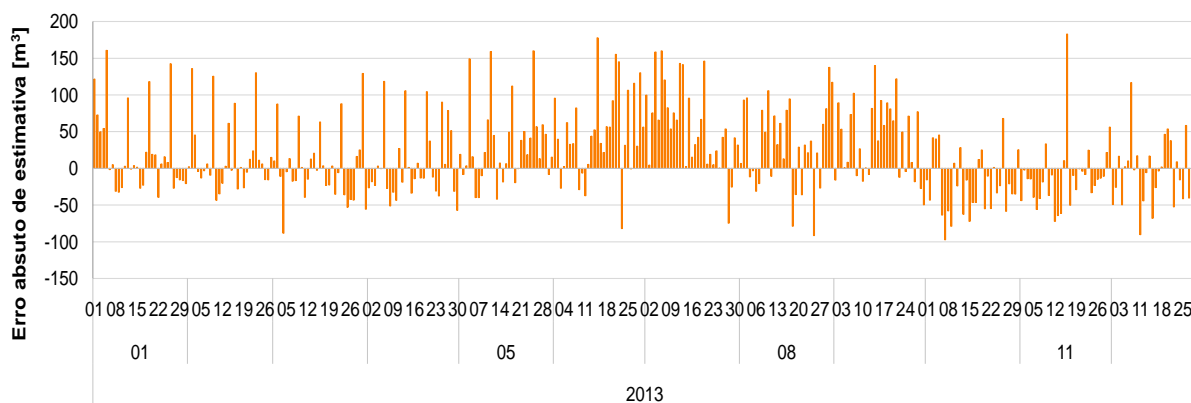


Figura A12.14 Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município de Santo Tirso

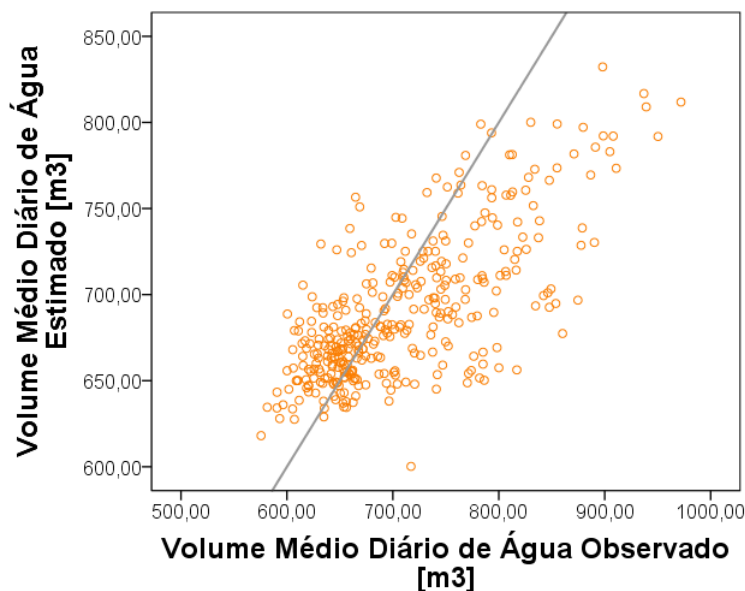
**Trofa**



**Figura A12.15** Gráfico de consumos médios diários observados e estimados para o município da Trofa



**Figura A12.16** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAd do município da Trofa



**Figura A12.17** Diagrama de dispersão de consumos médios diários observados e estimados para o município da Trofa

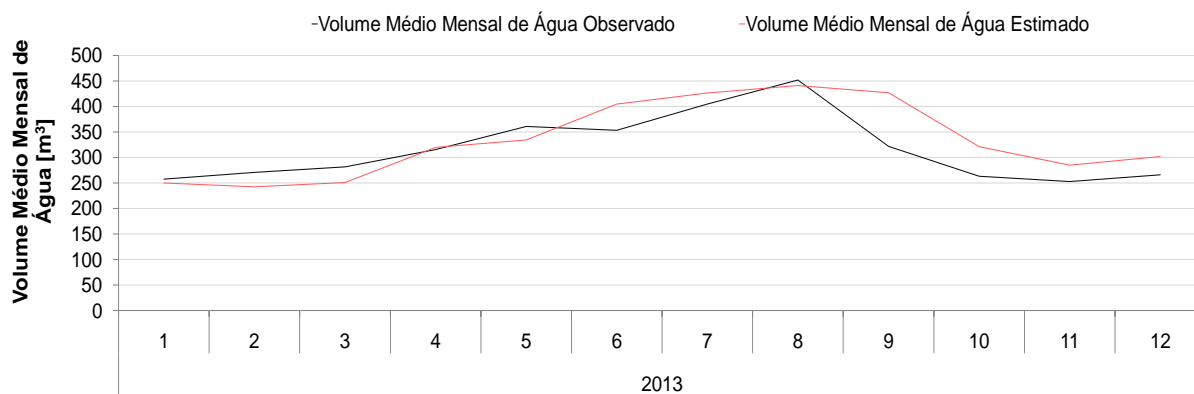




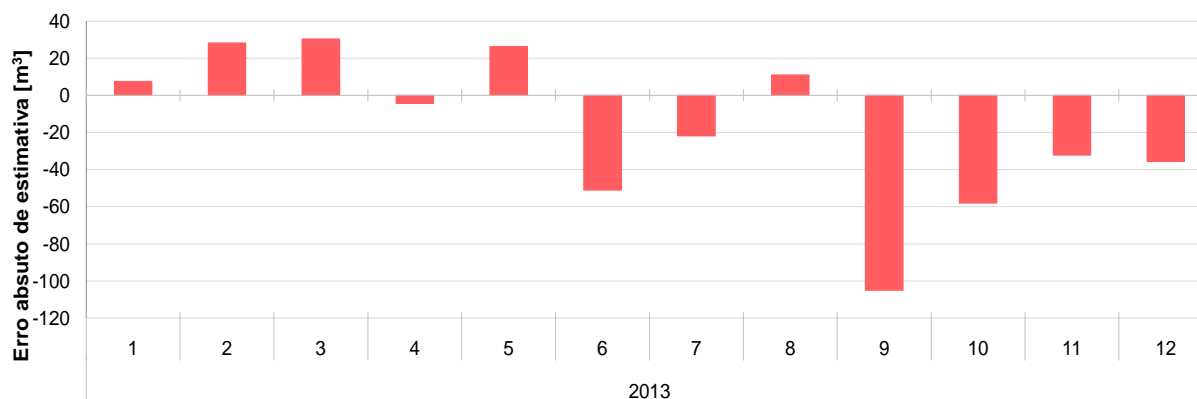
# Anexo XIII

## Validação dos Modelos de Projeção de Consumos Médios Mensais de Água

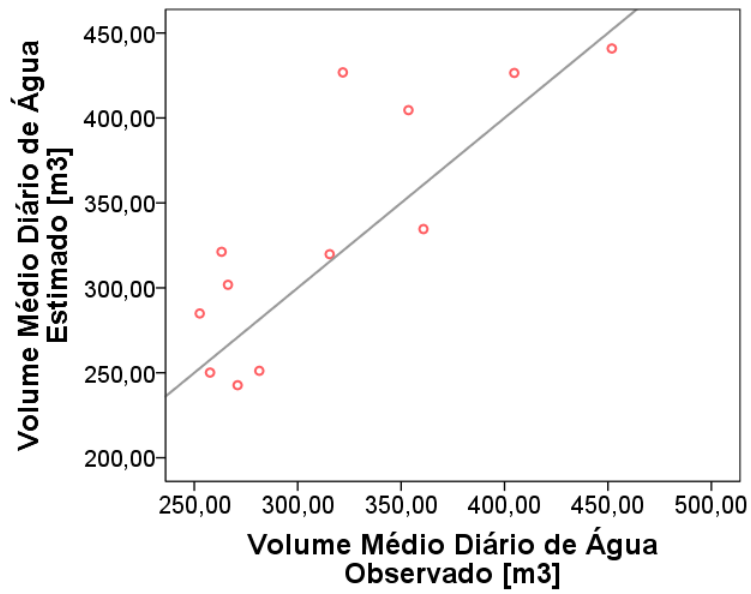
### Póvoa de Varzim



**Figura A13.1** Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Póvoa de Varzim

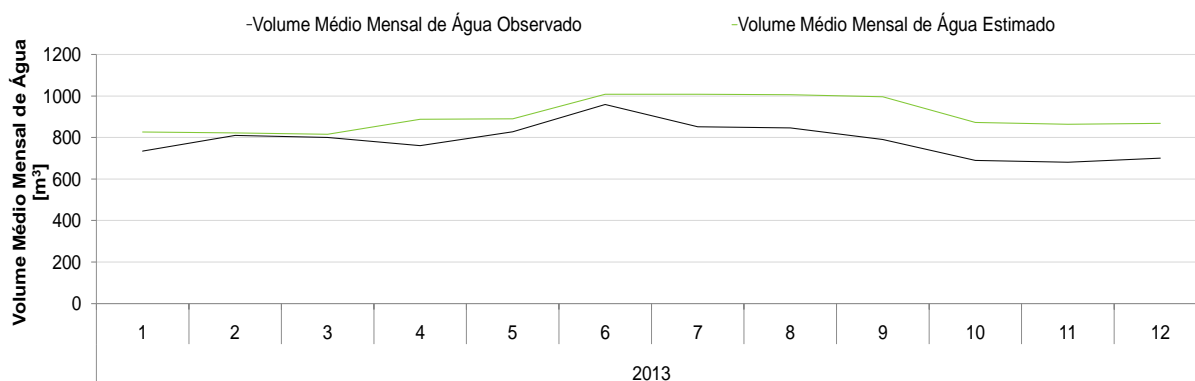


**Figura A13.2** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAm do município de Póvoa de Varzim

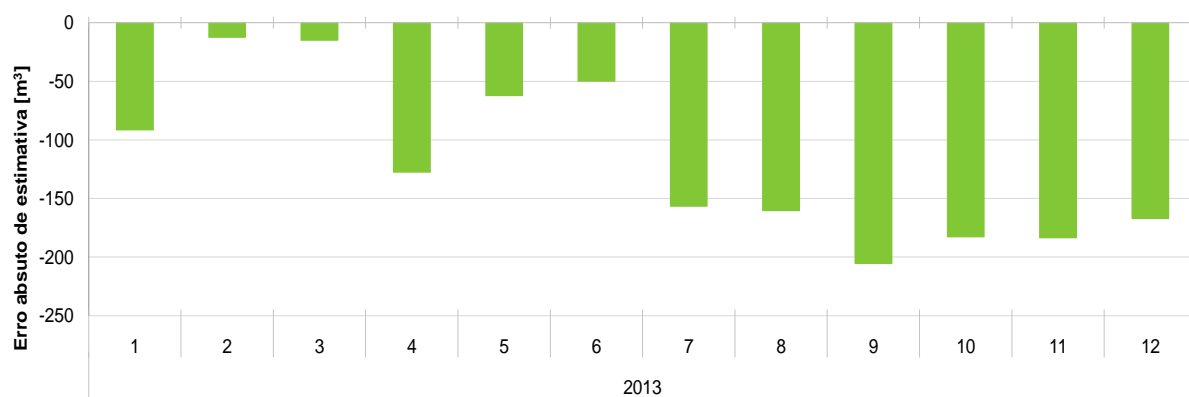


**Figura A13.3** Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município da Póvoa de Varzim

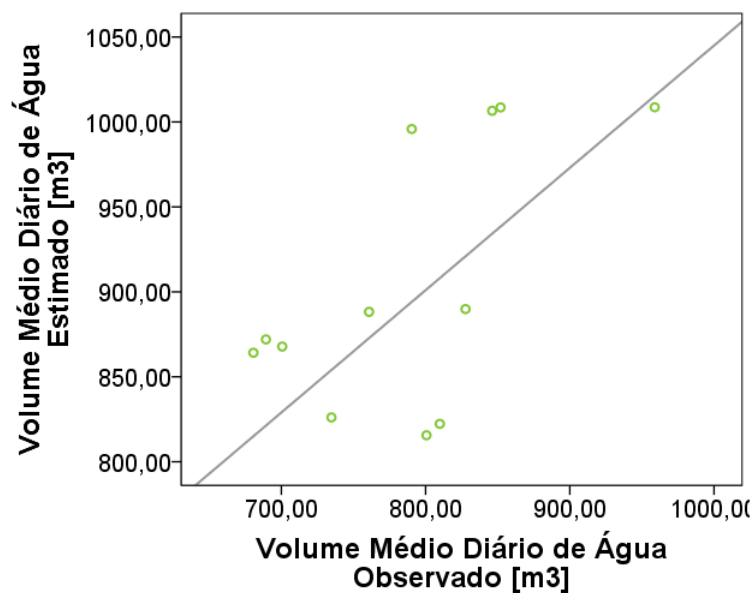
## Barcelos



**Figura A13.3** Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Barcelos

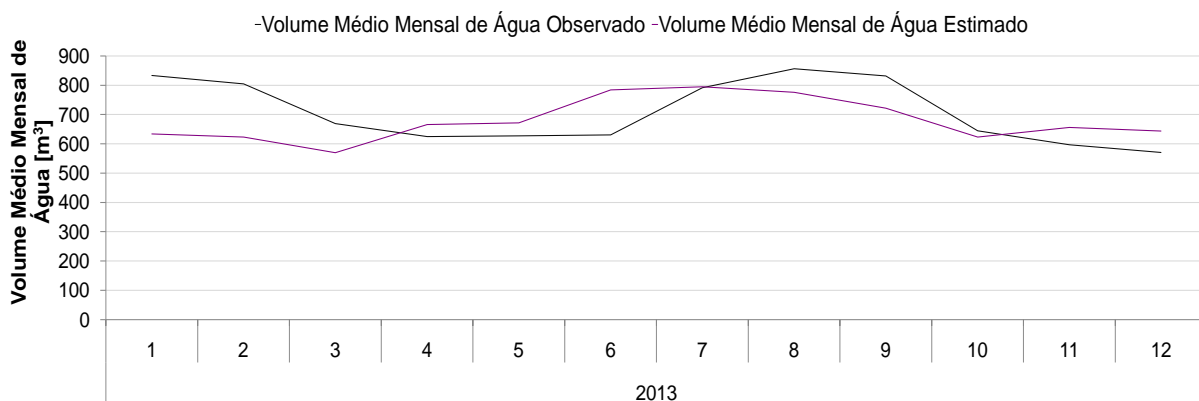


**Figura A13.4** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAM do município de Barcelos

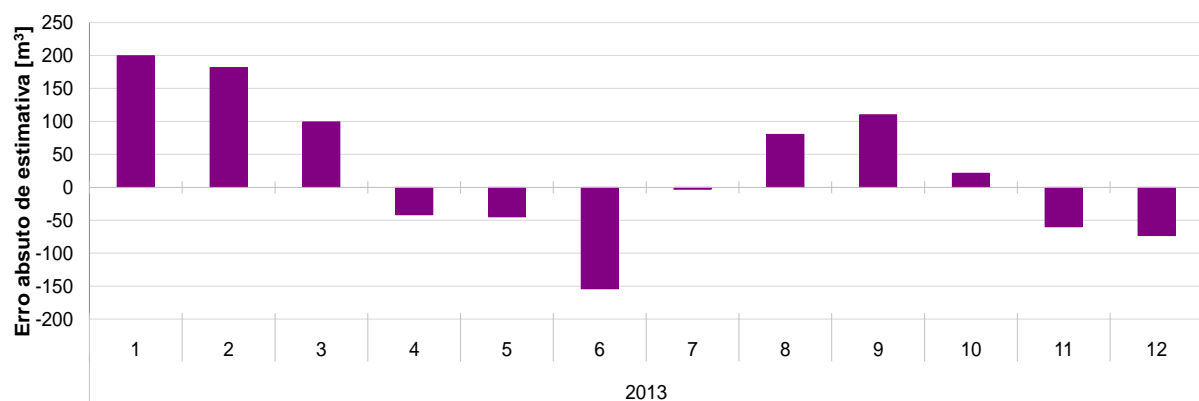


**Figura A13.5** Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Barcelos

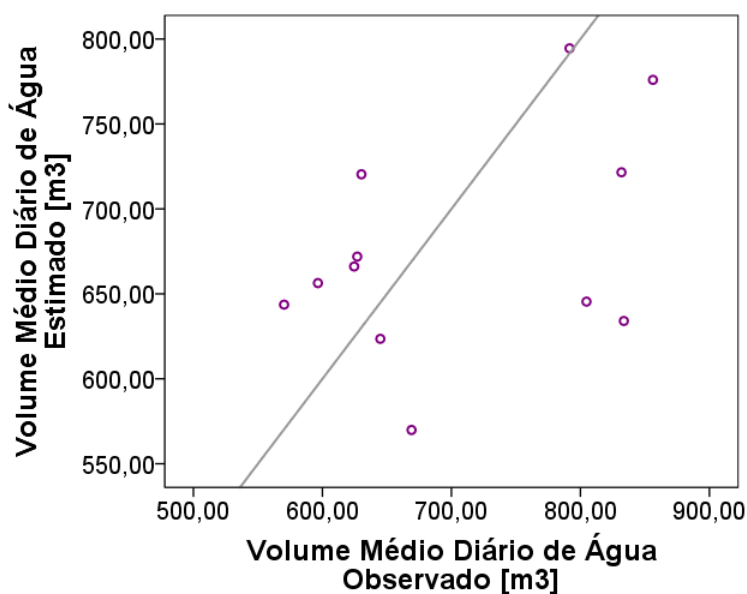
### V. N. de Famalicão



**Figura A13.6** Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de V. N. de Famalicão



**Figura A13.7** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAm do município de V. N. de Famalicão



**Figura A13.8** Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município da V. N. de Famalicão

Vila do Conde

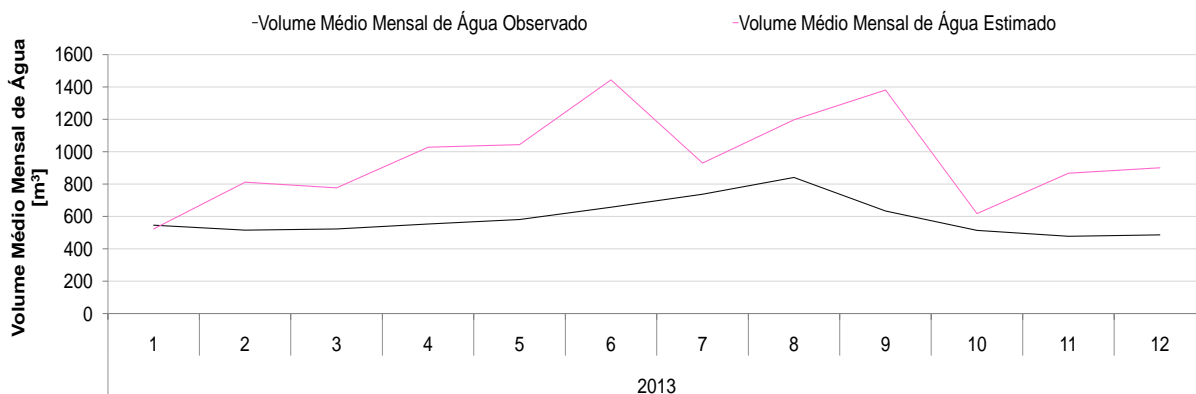


Figura A13.9 Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Vila do Conde

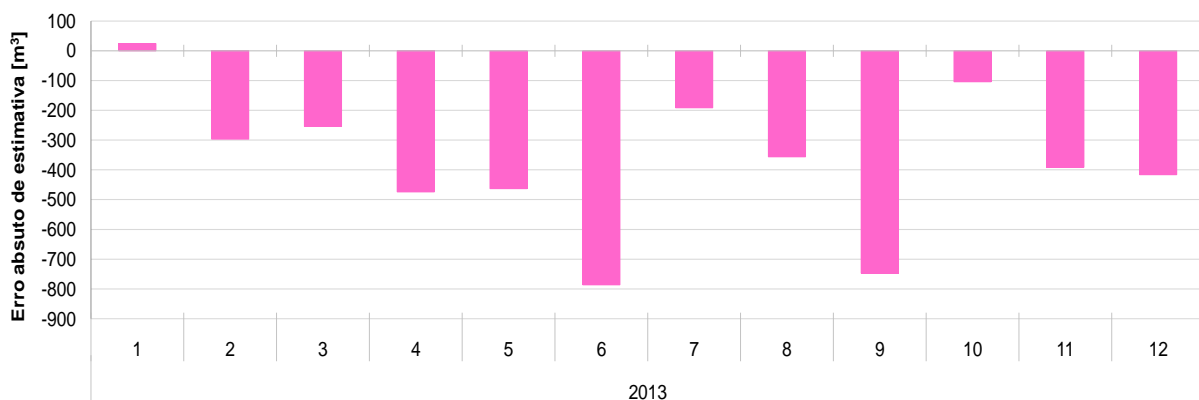


Figura A13.10 Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAM do município de Vila do Conde

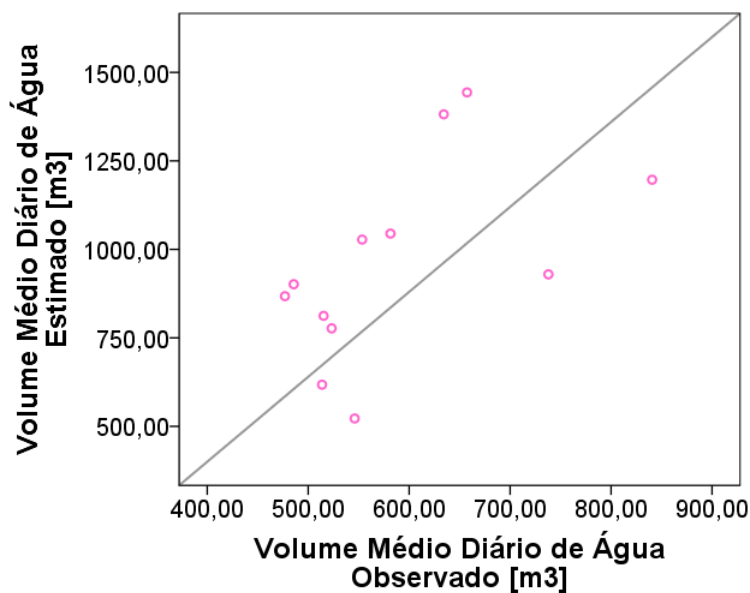


Figura A13.11 Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município da V Vila do Conde

### Santo Tirso

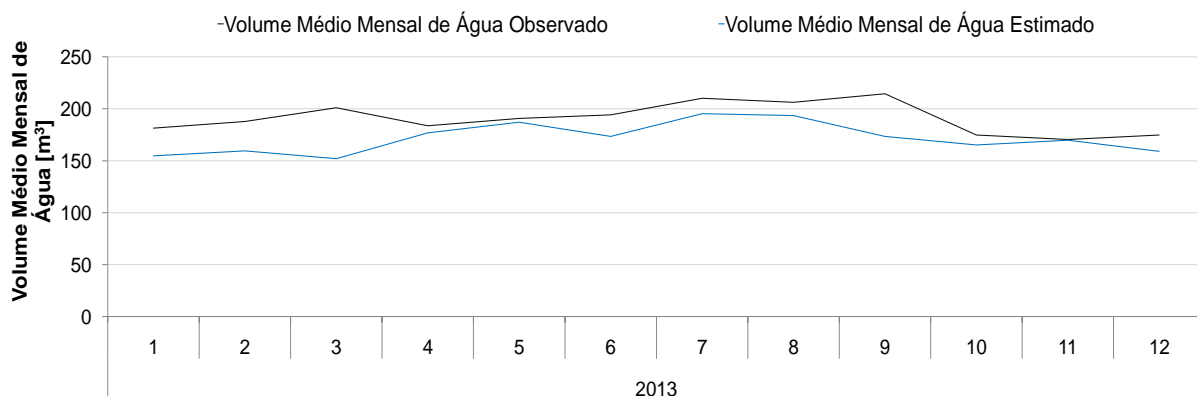


Figura A13.12 Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Santo Tirso

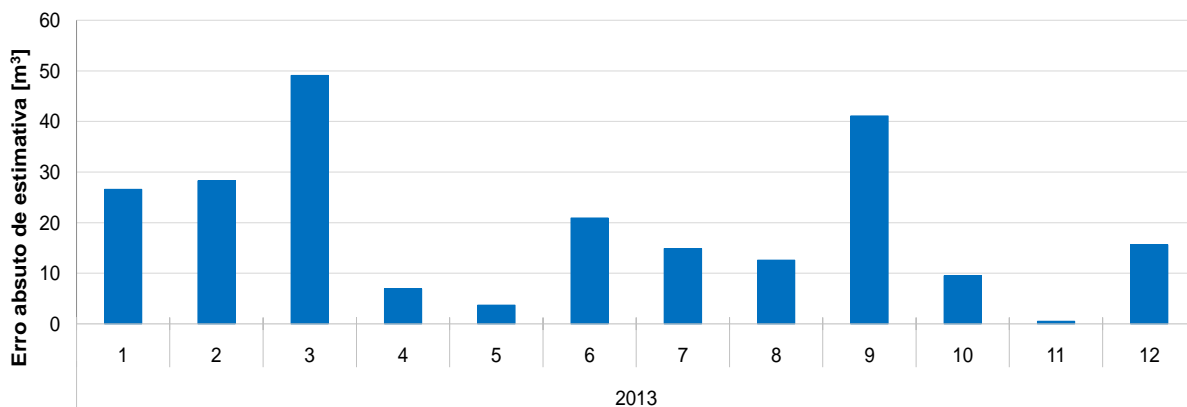


Figura A13.13 Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAM do município de Santo Tirso

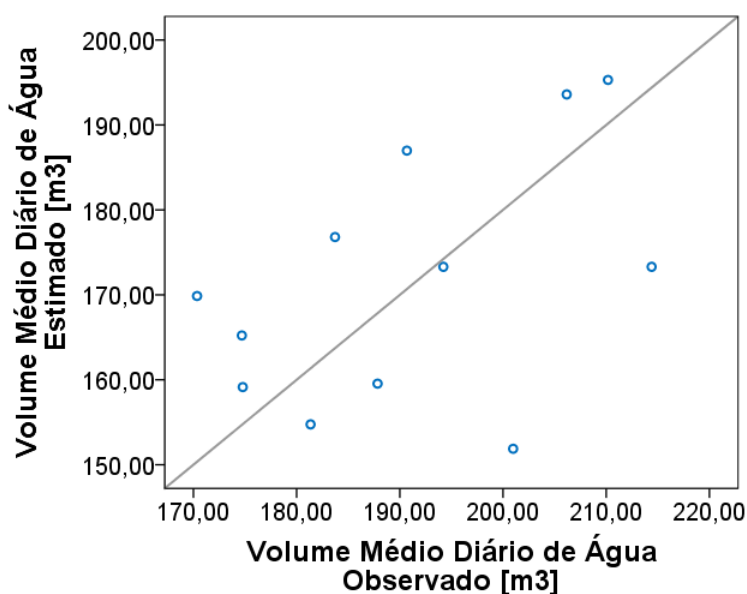
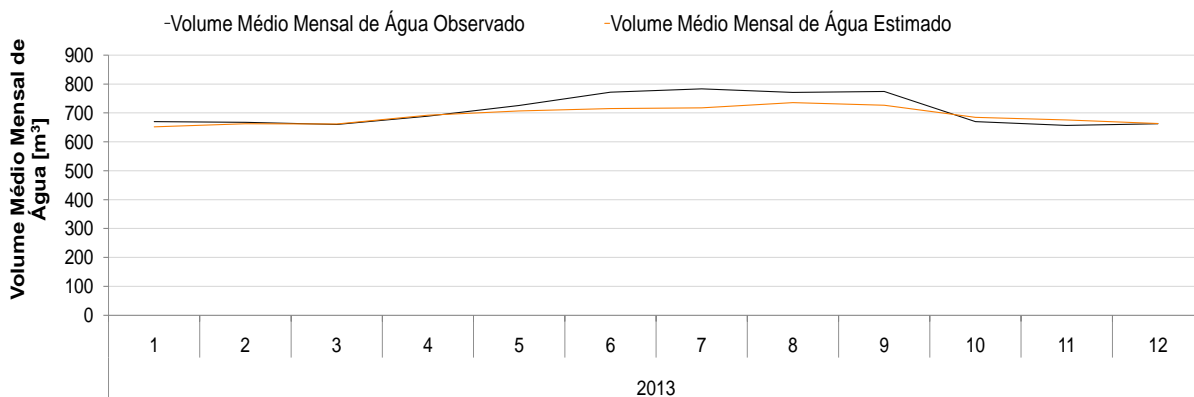
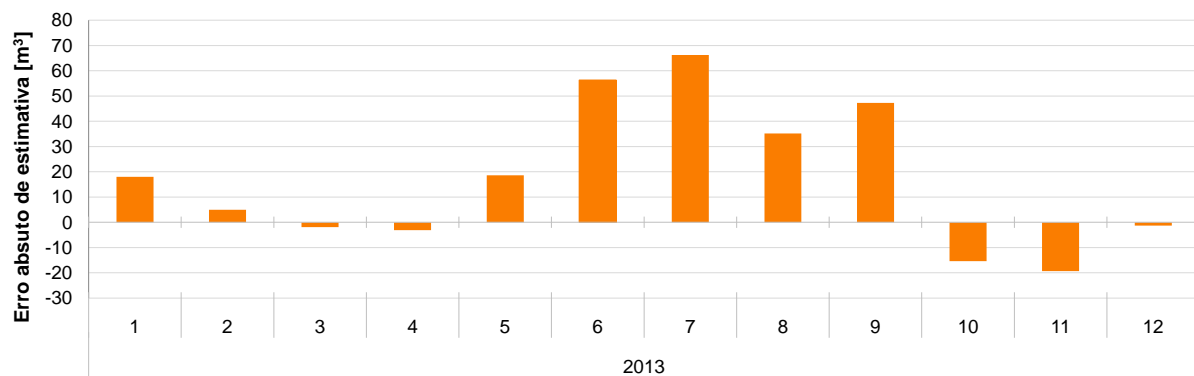


Figura A13.14 Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município de Santo Tirso

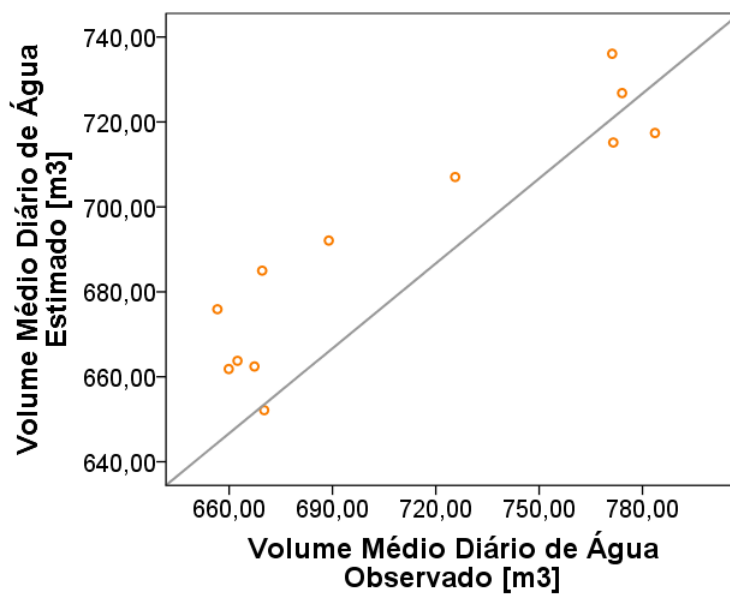
### Trofa



**Figura A13.15** Gráfico de consumos médios mensais observados e estimados para o município da Trofa



**Figura A13.16** Gráfico de erro absoluto de estimativa do MPCAm do município da Trofa



**Figura A13.17** Diagrama de dispersão de consumos médios mensais observados e estimados para o município da Trofa