

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



# **Caracterização de padrões de despacho horário de produção Ibérica de electricidade**

**Ricardo Miguel Pinto de Oliveira**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Cláudio Martins Monteiro

14 de Fevereiro de 2017



# Resumo

Os sistemas elétricos de energia têm sofrido alterações nos últimos anos devido ao crescimento e implementação de novas tecnologias de produção, essencialmente de origem renovável. Este tipo de produção de energia tem uma grande variação de produção e depende das condições atmosféricas. Assim, torna-se importante perceber esta evolução e como se comporta o despacho de produção de energia com estas novas variantes. O objetivo deste trabalho é estudar e caracterizar o comportamento dos diferentes tipos de produção no despacho em Portugal e Espanha.

Foram reunidos os dados de produção, consumo e preços entre janeiro de 2013 e Novembro de 2016 para Portugal e Espanha. Através da sincronização destes casos, foi possível obter o caso global da Península Ibérica. Partindo desses dados foi feita uma caracterização através de uma análise de gráficos referente a períodos diferentes que nos permitiram perceber o comportamento dos valores médios de despacho, carga e preços relativamente ao mês, horas e dia da semana. Todas estas variáveis foram tratadas para serem estudadas através de técnicas de clustering. Utilizando o algoritmo *Fuzzy C-means* foram obtidos diferentes grupos de dados que formam padrões. O estudo consiste em analisar esses padrões graficamente e fazer uma caracterização dos três casos.

Foram caracterizados 10 padrões de produção para Portugal, 8 para Espanha e 8 para a península Ibérica. Como Espanha tem uma carga 5 vezes superior a Portugal, o seu peso no caso da Península Ibérica é muito elevado revelando padrões muito semelhantes.



# Abstract

Electric power systems have changed in recent years due to the growth and implementation of new energy production technologies, primarily from renewable sources. This type of energy production has a great variation and depends on the atmospheric conditions. Thus, it is important to understand this evolution and how the dispatch of energy production behaves with these new variants. The objective of this work is to study and characterize the behavior of the different types of production in Portugal and Spain.

Production, consumption and price data were collected between January 2013 and November 2016 for Portugal and Spain. Through the synchronization of these cases, it was possible to obtain the global case of the Iberian Peninsula. The data were characterized through a graph analysis of different periods that allowed us to perceive the behavior of average dispatch values, cargo and prices relative to the month, hours and day of the week. All these variables were treated to be studied through grouping techniques. Using the Fuzzy C-means algorithm, different data sets were obtained that form patterns. The study consists of analyzing the patterns graphically and characterizing the three cases.

Ten production standards were characterized for Portugal, 8 for Spain and 8 for the Iberian Peninsula. As Spain has a load 5 times higher than Portugal, its weight in the case of the Iberian Peninsula is very high revealing very similar patterns.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização . . . . .	1
1.1.1	Sistemas Eletricos de Energia em Portugal e Espanha . . . . .	2
1.1.2	Despacho em ambiente de mercado . . . . .	2
1.1.3	Motivação . . . . .	3
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Estrutura da Dissertação . . . . .	3
1.4	Fontes de Informação e Ferramentas . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Caracterização do Sistema Ibérico de Energia</b>	<b>5</b>
2.1	Sistema Eletroprodutor . . . . .	5
2.1.1	Potência Instalada . . . . .	5
2.1.2	Geração de Energia . . . . .	6
2.1.3	Consumo . . . . .	8
2.1.4	Interligações . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Tratamento e Análise de Dados</b>	<b>11</b>
3.1	Portugal . . . . .	13
3.1.1	Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços . . . . .	13
3.1.2	Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços . . . . .	15
3.1.3	Caracterização de médias por dia da semana do despacho, carga e preços	17
3.2	Espanha . . . . .	19
3.2.1	Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços . . . . .	19
3.2.2	Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços . . . . .	21
3.2.3	Caracterização de médias por dia da semana do despacho, carga e preços	22
3.3	Península Ibérica . . . . .	23
3.3.1	Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços . . . . .	24
3.3.2	Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Metodologia de Clustering</b>	<b>29</b>
4.1	Algoritmos de clustering . . . . .	29
4.2	Tratamento de dados . . . . .	30
4.3	Definição dos Clusters . . . . .	30
4.4	Representação gráfica . . . . .	32
4.5	Agrupamento de clusters . . . . .	35
4.6	Escolha do número de clusters . . . . .	36

<b>5</b>	<b>Análise de Resultados</b>	<b>39</b>
5.1	Portugal . . . . .	39
5.1.1	Padrão de produção 1 . . . . .	41
5.1.2	Padrão de produção 2 . . . . .	41
5.1.3	Padrão de produção 3 . . . . .	42
5.1.4	Padrão de produção 4 . . . . .	43
5.1.5	Padrão de produção 5 . . . . .	44
5.1.6	Padrão de produção 6 . . . . .	45
5.1.7	Padrão de produção 7 . . . . .	46
5.1.8	Padrão de produção 8 . . . . .	47
5.1.9	Padrão de produção 9 . . . . .	48
5.1.10	Padrão de produção 10 . . . . .	49
5.2	Espanha . . . . .	50
5.2.1	Padrão de produção 1 . . . . .	52
5.2.2	Padrão de produção 2 . . . . .	53
5.2.3	Padrão de produção 3 . . . . .	54
5.2.4	Padrão de produção 4 . . . . .	55
5.2.5	Padrão de produção 5 . . . . .	55
5.2.6	Padrão de produção 6 . . . . .	56
5.2.7	Padrão de produção 7 . . . . .	57
5.2.8	Padrão de produção 8 . . . . .	59
5.3	Península Ibérica . . . . .	60
5.3.1	Padrão de produção tipo 1 . . . . .	61
5.3.2	Padrão de produção tipo 2 . . . . .	62
5.3.3	Padrão de produção tipo 3 . . . . .	63
5.3.4	Padrão de produção tipo 4 . . . . .	64
5.3.5	Padrão de produção tipo 5 . . . . .	65
5.3.6	Padrão de produção tipo 6 . . . . .	66
5.3.7	Padrão de produção tipo 7 . . . . .	67
5.3.8	Padrão de produção tipo 8 . . . . .	67
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>69</b>
6.1	Padrões em Portugal . . . . .	69
6.2	Padrões em Espanha . . . . .	70
6.3	Padrões na Península Ibérica . . . . .	71
6.4	Satisfação dos Objetivos . . . . .	71
<b>A</b>		<b>75</b>
A.1	Gráficos para suporte na análise de dados do capítulo 3. . . . .	75
A.1.1	Portugal . . . . .	75
A.1.2	Espanha . . . . .	78
A.1.3	Península Ibérica . . . . .	82
<b>B</b>		<b>87</b>
B.1	Gráficos para suporte à metodologia de clustering e à caracterização de padrões no capítulo 5. . . . .	87
B.1.1	Portugal . . . . .	87
B.1.2	Espanha . . . . .	88
B.1.3	Península Ibérica . . . . .	90

# Lista de Figuras

2.1	Potência Instalada em Portugal e Espanha entre 2013 e 2015. . . . .	6
2.2	Geração de eletricidade por fonte em Portugal, 1973-2014. . . . .	7
2.3	Geração de eletricidade por fonte em Espanha, 1973-2014. . . . .	7
2.4	Gráfico dos diversos tipos de produção e seu peso no mix energético dos países pertencentes à IEA. . . . .	8
2.5	Saldo intercâmbios. . . . .	9
2.6	Fluxo nas interligações na península ibérica em 2013. . . . .	9
3.1	Evolução do despacho, cargas e preços em Portugal entre 2013 e 2016. . . . .	12
3.2	Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços em Portugal. . . . .	13
3.3	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal. . . . .	15
3.4	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de fevereiro. . . . .	16
3.5	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto. . . . .	17
3.6	Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Portugal. . . . .	18
3.7	Evolução do despacho, cargas e preços em Espanha entre 2013 e 2016. . . . .	19
3.8	Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços em Espanha. . . . .	20
3.9	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha. . . . .	21
3.10	Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Espanha. . . . .	23
3.11	Evolução da Produção de Energia na Península Ibérica entre 2013 e 2016. . . . .	24
3.12	Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços na Península Ibérica. . . . .	25
3.13	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica. . . . .	26
3.14	Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica. . . . .	27
4.1	Metodologia para a análise dos dados através de Clusters. . . . .	31
4.2	Gráfico para 20 clusters, Portugal. . . . .	33
4.3	Exemplo dos gráficos criados para analisar os clusters. Representação do cluster 8 do caso português com 20 clusters. . . . .	34
4.4	Matriz de comparação entre clusters. . . . .	35
4.5	Análise dos clusters 4 e 14 para possível agrupamento do caso português com 20 clusters. . . . .	36
4.6	Gráfico para 50 clusters, Portugal. . . . .	37
4.7	Gráfico para 100 clusters, Portugal. . . . .	37
5.1	Exemplos de padrões de produção em Portugal. . . . .	40
5.2	Cluster 19 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	41
5.3	Cluster 15 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	42

5.4	Cluster 6 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	43
5.5	Cluster 5 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	44
5.6	Cluster 24 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	44
5.7	Cluster 41 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	45
5.8	Cluster 37 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	46
5.9	Clusters 4, 20 e 38 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	47
5.10	Clusters 10, 12 e 34 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	48
5.11	Cluster 9 da análise para 50 clusters em Portugal. . . . .	49
5.12	Todos os clusters do caso espanhol com 50 clusters. . . . .	51
5.13	Exemplos de padrões de produção em Espanha. . . . .	51
5.14	Cluster 47 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	52
5.15	Clusters 31 e 41 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	53
5.16	Cluster 37 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	54
5.17	Clusters 2 e 33 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	55
5.18	Cluster 9 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	56
5.19	Cluster 18 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	57
5.20	Clusters 12, 16, 39 e 50 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	58
5.21	Cluster 25 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	59
5.22	Todos os clusters do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	60
5.23	Exemplos de padrões de produção na Península Ibérica. . . . .	61
5.24	Cluster 19 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	62
5.25	Cluster 28 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	63
5.26	Clusters 22 e 44 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	64
5.27	Clusters 10 e 45 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	64
5.28	Clusters 6 e 7 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	65
5.29	Clusters 36 e 49 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	66
5.30	Clusters 3, 11 e 24 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	67
5.31	Clusters 12 e 17 do caso da Península Ibérica com 50 clusters. . . . .	68
A.1	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de maio. . . . .	75
A.2	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto. . . . .	76
A.3	Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de fevereiro. . . . .	76
A.4	Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de maio. . . . .	77
A.5	Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto. . . . .	77
A.6	Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de outubro. . . . .	78
A.7	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de fevereiro. . . . .	78
A.8	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de maio. . . . .	79
A.9	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de agosto. . . . .	79
A.10	Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de outubro. . . . .	80

A.11 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de fevereiro. . . . .	80
A.12 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de maio. . . . .	81
A.13 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de agosto. . . . .	81
A.14 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de outubro. . . . .	82
A.15 Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de fevereiro. . . . .	82
A.16 Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de maio. . . . .	83
A.17 Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de agosto. . . . .	83
A.18 Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de outubro. . . . .	84
A.19 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de fevereiro. . . . .	84
A.20 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de maio. . . . .	85
A.21 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de agosto. . . . .	85
A.22 Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de outubro. . . . .	86
B.1 Proximidade dos Clusters - 100 clusters, Portugal. . . . .	87
B.2 Cluster 30 no estudo de 50 clusters para Espanha. . . . .	88
B.3 Cluster 28 no estudo de 50 clusters para Espanha. . . . .	88
B.4 Clusters 16 e 50 no estudo de 50 clusters para Espanha. . . . .	89
B.5 Clusters 12 e 39 no estudo de 50 clusters para Espanha. . . . .	89
B.6 Clusters 32 e 49 no estudo de 50 clusters para Espanha. . . . .	90
B.7 Cluster 22 no estudo de 50 clusters para a Península Ibérica. . . . .	90
B.8 Cluster 22 no estudo de 50 clusters para a Península Ibérica. . . . .	91



# Lista de Tabelas

4.1	Exemplo de uma parte da matriz centers associada às variáveis. Caso de Portugal para 20 clusters com 8 dimensões. . . . .	31
4.2	Exemplo de uma pequena parte da matriz U. Caso de Portugal com 20 clusters. . . . .	32
5.1	Valores mínimo, máximo e médio dos valores totais das variáveis em Portugal. . . . .	39
5.2	Amplitude dos limites representativos da variação dos dados na análise gráfica para Portugal. . . . .	40
5.3	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 em Portugal. . . . .	41
5.4	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 em Portugal. . . . .	41
5.5	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 em Portugal. . . . .	43
5.6	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 em Portugal. . . . .	43
5.7	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 em Portugal. . . . .	45
5.8	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 em Portugal. . . . .	45
5.9	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 em Portugal. . . . .	46
5.10	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 em Portugal. . . . .	47
5.11	Dados dos centros dos clusters 4, 20 e 38 para a análise de 50 clusters em Portugal. . . . .	48
5.12	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 9 em Portugal. . . . .	48
5.13	Dados dos centros dos clusters 10, 12 e 34 para a análise de 50 clusters em Portugal. . . . .	49
5.14	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 10 em Portugal. . . . .	49
5.15	Valores mínimo, máximo e médio dos valores totais das variáveis em Espanha. . . . .	50
5.16	Amplitude dos valores das relações entre as variáveis para o caso de Espanha. . . . .	50
5.17	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 em Espanha. . . . .	52
5.18	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 em Espanha. . . . .	53
5.19	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 em Espanha. . . . .	54
5.20	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 em Espanha. . . . .	55
5.21	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 em Espanha. . . . .	56
5.22	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 em Espanha. . . . .	57
5.23	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 em Espanha. . . . .	57
5.24	Clusters 12, 16, 39, 50 na análise de Espanha com 50 clusters. . . . .	58
5.25	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 em Espanha. . . . .	59
5.26	Valores médios, máximo e mínimos das variáveis na Península Ibérica. . . . .	60
5.27	Amplitude dos limites representativos da variação dos dados na análise gráfica para Portugal. . . . .	60
5.28	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 na Península Ibérica. . . . .	62
5.29	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 na Península Ibérica. . . . .	62
5.30	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 na Península Ibérica. . . . .	63
5.31	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 na Península Ibérica. . . . .	65
5.32	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 na Península Ibérica. . . . .	65

5.33	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 na Península Ibérica. . .	66
5.34	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 na Península Ibérica. . .	67
5.35	Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 na Península Ibérica. . .	68

# Abreviaturas e Símbolos

CCGN	Ciclo Combinado a Gás Natural
ES	Espanha
FCM	Fuzzy C-means
IB	Península Ibérica
IEA	International Energy Agency
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
PRE	Produção em Regime Especial
PRO	Produção em Regime Ordinário
PT	Portugal
REE	Rede Elétrica de Espanha
REN	Rede Elétrica Nacional - Portugal
SEE	Sistema Elétrico de Energia



# Capítulo 1

## Introdução

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Nesta dissertação vão ser estudados os padrões de produção de energia em Portugal, Espanha e no conjunto da Península Ibérica tendo em consideração as diferentes variáveis consideradas no despacho do Mercado Ibérico de eletricidade. Este estudo será feito recorrendo a ferramentas matemáticas de clustering que nos permitirão encontrar e caracterizar diferentes padrões de produção de energia

Este capítulo contempla uma contextualização dos sistemas elétricos de energia Português e Espanhol e a sua intervenção no despacho do MIBEL e o funcionamento do mesmo.

### 1.1 Contextualização

Os Sistemas Elétricos de Energia (SEE) têm evoluído bastante nas últimas décadas devido à construção de novas centrais de produção de energia elétrica assim como a evolução das tecnologias dos diferentes tipos de produção de energia. O mix energético da produção de Energia é definido por comissionamento de grupos, seja em ambiente de otimização global com exploração em monopólio ou em ambiente de otimização parcial em mercado. O despacho tem que seguir os regulamentos que definem quais as centrais elétricas que devem ser utilizadas em diferentes situações. Por exemplo, nos últimos anos as energias renováveis têm aumentado significativamente o seu peso no mix energético na produção de energia devido aos incentivos de mercado criados que despoletaram o seu crescimento. Desta forma, é importante estudar o impacto dos diferentes tipos de produção de energia na rede através dos seus padrões de produção, para esta continuar a evoluir de forma mais eficiente. Assim, a caracterização de padrões de produção dos diferentes tipos de centrais elétricas, considerando diferentes variáveis, pode ser importante para a melhor compreensão do SEE contribuindo para a sua melhoria. Utilizando técnicas de clustering, podemos analisar a energia produzida num certo período de tempo e identificar padrões de produção. Não havendo estudos nesta área, é interessante estudar os padrões reais resultantes deste processo

holístico de despacho para melhor compreender a relação entre as diversas variáveis de produção, preços e outras variáveis envolventes.

### **1.1.1 Sistemas Elétricos de Energia em Portugal e Espanha**

O sistema produção do SEE Ibérico é bastante variado e com algumas diferenças entre Portugal e Espanha.

Em Portugal, a potência instalada em setembro de 2016 era de 19458MW e em 2015 foram gerados 52TWh. Analisando os dados relativos a 2015, a potência instalada está distribuída de forma aproximadamente equivalente entre hídrica (33%), Térmica (carvão e ciclo combinado 29%) e Produção em Regime Especial (PRE) sendo esta última a mais significativa (38%). Em Portugal considera-se PRE os seguintes tipos de produção de energia: cogeração, pequenas centrais hidroelétricas (maioritariamente inferiores a 10MW), outras fontes renováveis (eólica, solar, biomassa), resíduos (predominantemente resíduos sólidos urbanos), produção em baixa tensão e micro-produção. Este tipo de produção beneficia de um sistema de incentivos com subsídios ao investimento e tarifa garantida no mercado elétrico justificando o seu peso no mix energético português. A energia eólica, que está incluída na PRE, é a segunda fonte de energia com maior peso na produção elétrica portuguesa (22%) atrás da energia Térmica (37,5%). A potência instalada de parques eólicos é de 5033MW.

Em Espanha, a potência instalada em dezembro de 2015 era de 106247 MW e gerou 267TWh. Analisando os dados do ano de 2015, a produção nuclear, não existente em Portugal, foi a que mais se faz representar em Espanha peninsular sendo responsável por 21,8 % do total da energia gerada. Logo a seguir foram as centrais a carvão com 20,3 % do total gerado fazendo um total de 42,1% de energia térmica. A eólica, com 19 %, completa os três tipos de produção mais representativos. Isto explica-se com os grandes parques eólicos (23020MW), e as centrais nucleares (7573MW) e de carvão (10936 MW) que, apesar de terem valores inferiores a metade da potência instalada da eólica, dadas as suas especificidades técnicas têm um coeficiente de utilização muito elevado, cerca de 98% e 62% respetivamente.

Apesar da diferença entre os dois países, podemos verificar resultados idênticos no que diz respeito aos tipos de produção de energia mais representativos, a Térmica e a Eólica.

### **1.1.2 Despacho em ambiente de mercado**

O despacho funciona em ambiente de mercado – Mercado Elétrico. O mercado Elétrico funciona através de um Bolsa de Energia ou com contratos bilaterais. Na bolsa de Energia, todos os dias são efetuadas propostas de produção e de consumo pelas empresas para o dia seguinte. O operador de Mercado é responsável por analisar estas propostas e define quais as ofertas de procura e produção que aceita e os preços do fecho de mercado. Os contratos bilaterais são um complemento à Bolsa de Energia onde são estabelecidos acordos a médio prazo para a venda de energia a preços definidos previamente.

### 1.1.3 Motivação

Nesta dissertação queremos caracterizar como se relacionam os diferentes tipos de produção para diferentes dias do ano e horas do dia bem como a relação com as interligações e preços da eletricidade. Para fins de planeamento de longo prazo queremos analisar a influência dos níveis de produção de renovável nos preços de mercado e a sua relação com o despacho. Neste contexto serão utilizadas ferramentas de clustering para caracterização dos padrões de produção, interligação e relação com os preços na Península Ibérica.

## 1.2 Objetivos

Pretende-se utilizar técnicas de clustering para a identificação de padrões de produção elétrica caracterizados por tipo de produção (nuclear, carvão, gás natural, eólica, solar, hídrica e interligações). Esta caracterização pretende identificar os padrões de despacho térmico, hídrico e interligações para: diferentes perfis de consumos, sazonalidade, preços de carvão e gás natural, preços spot de eletricidade. Esta caracterização permitirá compreender melhor as relações entre os vários tipos de produção e as variáveis envolvidas, bem como caracterizar as diferenças de padrões em Portugal e Espanha. A influência da produção das várias fontes de produção nos preços e nos fluxos das interligações também deverá ser objetivo da caracterização.

- Recolher e sincronizar informação horária em Portugal e Espanha incluindo os fluxos nas interligações e preços MIBEL;
- Adaptar e desenvolver técnicas de reconhecimento de padrões para aplicar nas variáveis de produção e preços;
- Análise individual dos padrões temporais das variáveis de produção, interligação e preços;
- Análise da influência das produções em Portugal e Espanha sobre os preços e sobre os fluxos nas interligações;
- Identificação de padrões de produção ibéricos e sua caracterização face à intermitência das renováveis aos preços e a padrões temporais;
- Idealização do tipo de aplicações onde poderão ser utilizados os resultados de uma análise de padrões de produção.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 5 capítulos.

No capítulo 2, é feita uma caracterização dos sistemas elétricos Português e Espanhol.

No capítulo 3, são identificados e caracterizados os dados de produção de Energia em Portugal, Espanha e na Península Ibérica através de diagramas de médias do despacho, carga e preços.

No capítulo 4, é descrita a metodologia de clustering utilizada para definir os padrões dos dados deste trabalho. A técnica utilizada baseia-se no algoritmo *Fuzzy C-means* onde são definidos os clusters que representam os padrões de produção. Todo o procedimento de tratamento de dados é descrito.

No capítulo 5 é feita a análise aos dados obtidos através da metodologia descrita no capítulo anterior onde são caracterizados 10 padrões de produção para Portugal, 8 padrões para Espanha e 8 padrões para a Península Ibérica.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho efetuado sobre os padrões definidos no capítulo anterior.

## 1.4 Fontes de Informação e Ferramentas

Para este trabalho foi recolhida informação dos sites da Rede Elétrica Nacional (REN) e Rede Elétrica Espanhola (REE) sobre produção, consumo e preços da eletricidade. O período de tempo utilizado começa em Janeiro de 2013 e termina em Novembro de 2016. No caso Português temos valores de produção a cada 15 minutos enquanto que no caso Espanhol a informação é de 10 em 10 minutos.

As ferramentas utilizadas para a análise de dados foram o EXCEL e o MATLAB através da função fuzzy c-means. O EXCEL foi utilizado para reunir e organizar os dados enquanto que o MATLAB foi utilizado para aplicar as técnicas de clustering.

## Capítulo 2

# Caracterização do Sistema Ibérico de Energia

Neste capítulo é ilustrada a introdução de entradas no índice remissivo e são feitas diversas referências bibliográficas.

### 2.1 Sistema Eletroprodutor

#### 2.1.1 Potência Instalada

No final de 2015, Portugal tinha um total de 18534 MW de potência instalada. Entre os diferentes tipos de produção, as centrais Hidráulicas são as que representam um maior peso com 5724MW, 31% da capacidade instalada total. Logo em seguida, temos os parque eólicos com 4826 MW que representa 26% da potência instalada total. O terceiro tipo de centrais mais presentes em Portugal são as centrais a gás natural de ciclo combinado com um total de 3829MW que representa 21% do total da potência instalada em Portugal. As centrais a carvão representam 9% enquanto que a biomassa e cogeração juntas representam 8%. Podemos observar na tabela que, em comparação ao ano anterior, a potência instalada teve um aumento de 4,3% e todo ele em energias renováveis.

Em Espanha, também com valores do final de 2015, a potência instalada é de 101027MW. Como podemos facilmente observar, Espanha tem cerca de 5,5 vezes mais Potência instalada que Portugal correspondendo à diferença de tamanho e população (5,5 vezes maior e 4,5 mais populosa). A principal diferença nos tipos de produção nos dois sistemas electroprodutores é que em Espanha existe produção Nuclear com 7573 MW de potência instalada correspondendo a 7% do total. Contudo, como em Portugal, os três tipos de centrais produtoras com mais potência instalada são as de ciclo combinado (24948 MW - 25%), eólica (22864MW - 23%) e hidráulica (20352 MW - 20%). As centrais a carvão representam 10% da potência instalada e temos ainda a solar térmica e fotovoltaica com 7% assim como outras renováveis que também representam 7% da potência instalada total. Espanha teve um decréscimo de 1% na sua potência instalada total. Este valor resulta do incremento em 2,3% nas centrais hidráulicas e 40% nas outras renováveis enquanto que as centrais a carvão, nuclear, Fuel/Gás e CCGN tiveram uma diminuição de 5%, 4%,

100%, 2% respetivamente. Assim podemos também observar o aumento do peso das renováveis na capacidade instalada espanhol.

Na tabela 2.1 é possível observar os valores de potência instalada entre 2013 e 2015.

	Portugal						Espanha					
	2013	Var.	2014	Var.	2015	Var.	2013	Var.	2014	Var.	2015	Var.
Total	17792	-701	17841	83	18534	757	102.378	699	102.262	-116	101.027	-1.235
Nuclear	0	0	0	0	0	0	7.866	0	7.866	0	7.573	-293
Carvão	1756	0	1756	0	1756	0	11.132	18	10.972	-160	10.468	-504
Fuel	165	-946	0	-165	0	0	520	0	520	0	0	-520
CCGN	3829	0	3829	0	3829	0	25.348	0	25.348	0	24.948	-400
Hidráulica	5239	0	5270	31	5724	453	19.890	63	19.896	6	20.352	456
Éolica	4368	176	4541	176	4826	285	22.845	237	22.845	0	22.864	19
Solar (1)	282	62	393	111	429	33	6.724	453	6.728	4	6.720	-8
Outra renováveis (2)	2152	7	2052	-70	1970	-14	975	5	1.012	37	1.419	407

(1) em Espanha, inclui solar termica e fotovoltaica. Portugal apenas tem solar fotovoltaica.

(2) PT - Biomassa, cogeração // ES - Resíduos, Biomassa, cogeração, hidroelica, biogás, hidráulica marinha e geotérmica)

(3) Redução em 6,2% na cogeração e 24,4% nas restantes.

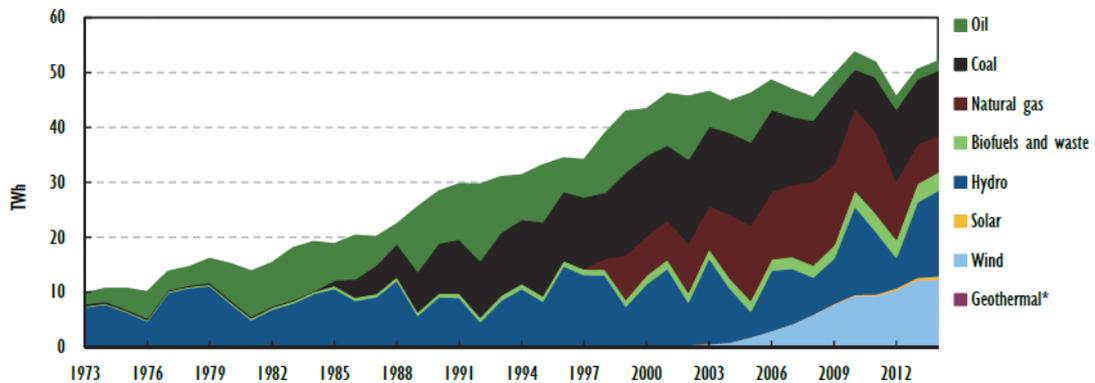
Figura 2.1: Potência Instalada em Portugal e Espanha entre 2013 e 2015.

## 2.1.2 Geração de Energia

No ano de 2014 Portugal gerou 52 terawatt-hora (TWh) de energia. Este valor é 3% superior à energia produzida em 2013 e 16,1% superior a 2004 [3]. Podemos verificar no gráfico 2.2 que a geração de energia varia de ano para ano, muito por culpa da variação da produção das centrais hidroelétricas. O ano de 2010 foi o ano com o valor de geração de energia mais elevado produzindo 53,7 TWh. Na última década podemos verificar que houve um aumento muito significativo de produção de energia eólica subindo de 1,8% da geração total de energia em 2004 para 23,3% em 2014. Em sentido inverso, a produção de energia em centrais que usam combustíveis fósseis.

Em Espanha, a geração de energia foi de 273.9 TWh em 2014 sendo que 2008 foi o ano de maior produção com 311 TWh produzidos. Após este pico o valor anual tem descido suavemente para valores idênticos a 2004. Em 2014, a energia nuclear foi a mais influente no mix energético com 20.9% seguida da eólica com 19.1% e o gás natural 17.2%. O carvão representou 16.3%, hidráulica 14.3%, petróleo 5.2%, solar 5% e biofuels e resíduos (2%) [2]. A par de Portugal, a energia eólica também teve um crescimento enorme durante a última década sendo que em Espanha também a produção de energia solar cresceu bastante. Os combustíveis fósseis tiveram também uma queda na sua utilização e a energia hídrica também sofre algumas flutuações. De acordo com as projeções do governo Espanhol, a geração de energia vai aumentar 12% até 2020 sendo que a energia solar e a eólica vão continuar a crescer enquanto o Carvão e o Petróleo vão

Figure 6.1 Electricity generation by source, 1973-2014



Note: Data are estimated for 2014.

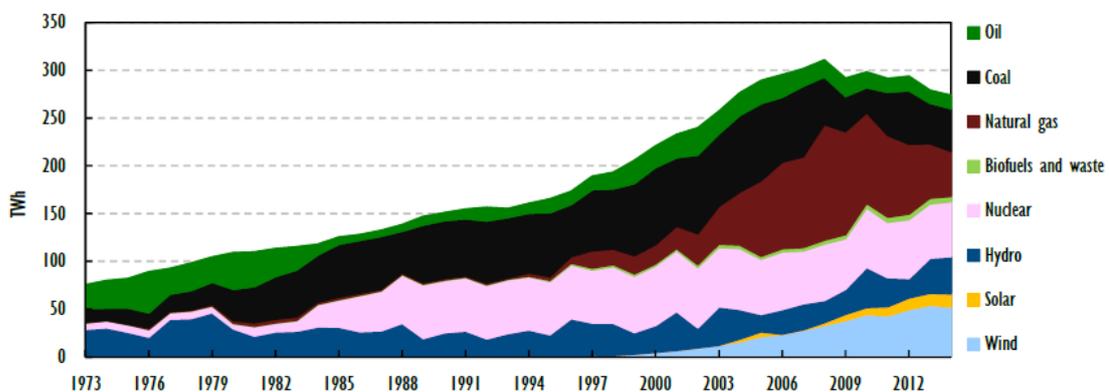
\* Negligible.

Source: IEA (2015a), *Energy Balances of OECD Countries 2015*, [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/).

Figura 2.2: Geração de eletricidade por fonte em Portugal, 1973-2014.

continuar a diminuir. Espera-se que o uso de Gás Natural volte a aumentar passando a ser o tipo de produção de energia mais influente no mix energético (27% do total).

Figure 8.1 Electricity generation by source, 1973-2014

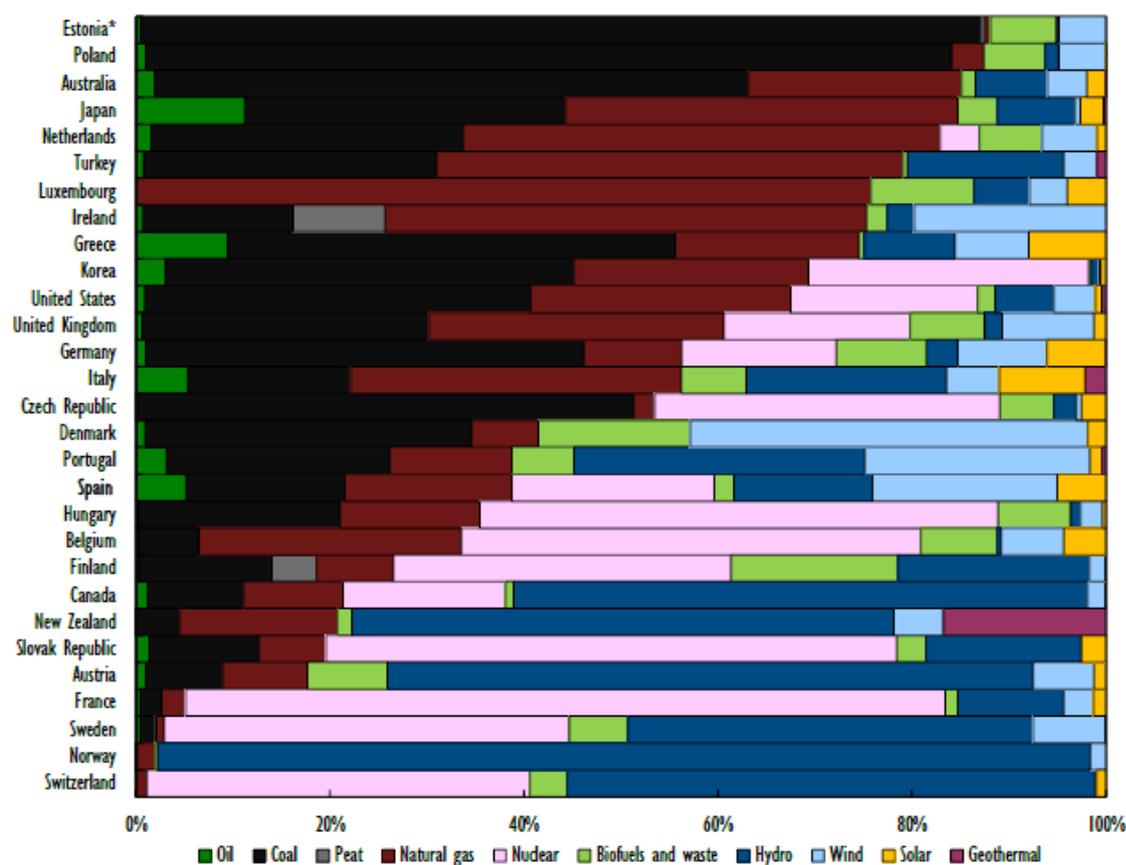


Note: data are estimated for 2014.

Source: IEA (2015a, forthcoming), *Energy Balances of OECD Countries*, OECD/IEA, Paris.

Figura 2.3: Geração de eletricidade por fonte em Espanha, 1973-2014.

É possível verificar que comparando com os restantes países membros da IEA, Portugal e Espanha são os 12º e 13º países com valores inferiores de produção de energia com origem em combustíveis fósseis no seu mix energético. Relativamente à energia eólica, apresentam um peso muito superior no mix energético relativamente aos outros países (2º e 4º respetivamente) sendo que Espanha é também o 4º país com maior influência de energia solar no seu mix energético [3].



Note: data are estimated.

\* Estonia's coal represents oil shale.

Source: IEA (2015a, forthcoming), *Energy Balances of OECD Countries*, OECD/IEA, Paris.

Figura 2.4: Gráfico dos diversos tipos de produção e seu peso no mix energético dos países pertencentes à IEA.

### 2.1.3 Consumo

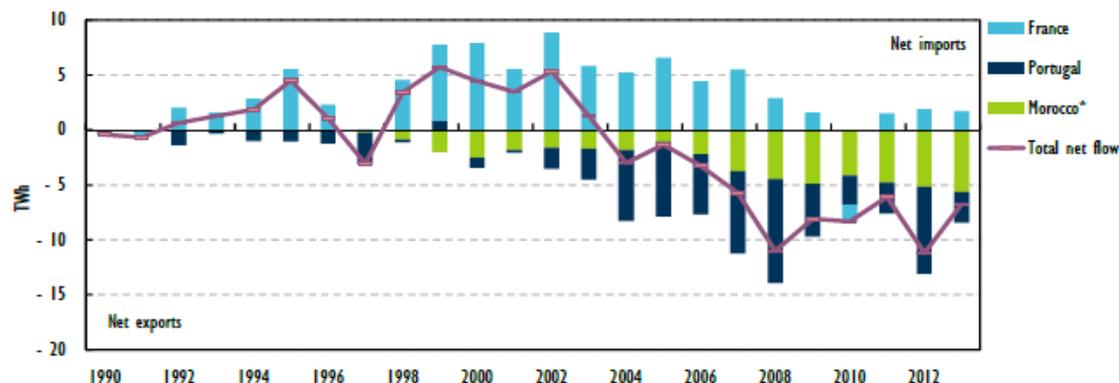
O consumo de energia em Portugal foi de 46,3 TWh em 2013 sendo que em 2010 atingiu o maior pico com 50,5 TWh. O setor comercial e de serviços públicos bem como o setor das indústrias são os maiores consumidores atingindo 35,8% e 34,6% do consumo total de energia. O consumo doméstico representa 26,6%. Em Espanha, o consumo foi de 237,1 TWh, mais de 5 vezes o valor português. Aqui o consumo doméstico é ligeiramente superior ao da indústria mantendo-se o setor comercial e de serviços públicos como o maior consumidor. Os valores são de 35,9%, 30,6% e 29,5% respetivamente.

### 2.1.4 Interligações

No ano de 2014, Portugal importou de Espanha 0,9 TWh de energia. Este valor representa 2% do consumo doméstico. Portugal tem sido sempre importador desde 1991 com exceção do ano de 1999 em que exportou 0,9TWh para Espanha. Já Espanha contempla ligações com mais dois

países, França e Marrocos. Como saldo final, Espanha revela-se um país exportador. No entanto, apenas exporta para Portugal e Marrocos sendo que se revela importadora relativamente a França.

Figure 8.3 Net electricity imports to and exports from Spain, by country, 1990-2013



\* Includes exports to Andorra that are around 3% of total exports.

Source: IEA (2015b, forthcoming), *Electricity Information*, OECD/IEA, Paris.

Figura 2.5: Saldo intercambios.

A Península Ibérica apresenta grandes limitações nas interligação ao resto da Europa devido à grande barreira que são os Pirenéus entre Espanha e França. Desta forma, os valores de capacidade de interligação são baixos relativamente aos outros estados membros. As interligações podem trazer diversos benefícios à rede elétrica como competição entre os produtores, segurança de fornecimento e sustentabilidade. A interligação entre os diferentes tipos de produção de diferentes países podem se complementar aumentando a eficiência na produção de energia. Assim, a Comissão Europeia definiu como objetivo atingir os 15% da capacidade instalada em cada estado membro nas suas interligações até 2030, tendo como patamar 10% já em 2020. Portugal já atingiu esse patamar tendo 12,3% da sua capacidade instalada na exportação e 15,7% de importação.

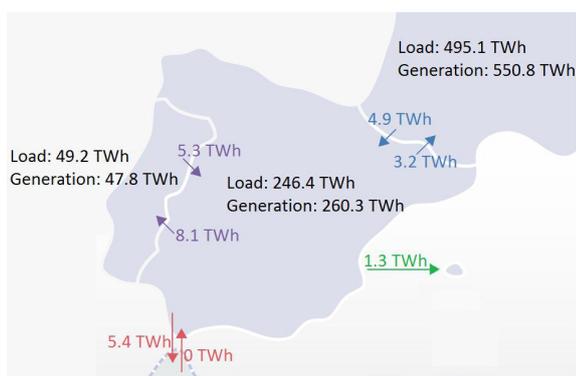


Figura 2.6: Fluxo nas interligações na península ibérica em 2013.

Espanha apresenta valores próximos de 5% nos dois sentidos. Este valor não contempla as interligações com Marrocos mas ainda assim não seria significativo uma vez que é inferior a 1% da

capacidade instalada em Espanha. Assim, é necessário desenvolver soluções que possam quebrar as barreiras entre a Península Ibérica e o resto da Europa.

Na figura 2.6 podemos ver um exemplo das trocas de energia entre a Península Ibérica e os países vizinhos no ano de 2013. Podemos facilmente então perceber que a Península Ibérica revela-se importadora relativamente a França e exportadora relativamente a Marrocos.

## Capítulo 3

# Tratamento e Análise de Dados

Neste capítulo estão descritos todos os procedimentos usados no tratamento de dados. A análise dos mesmos foi feita após a sua organização na forma de gráficos.

Os dados utilizados neste trabalho são referentes ao período entre Janeiro de 2013 até Novembro de 2016. As fontes foram a REN [4][6] e REE [5][7] e os dados representam a potência instantânea de produção e consumo a cada 15 minutos em Portugal e 10 minutos em Espanha, expressa em MW. Os preços utilizados são referentes à sessão zero do mercado diária em €/MWh. A ferramenta utilizada para o tratamento de dados foi o EXCEL.

Os dados recolhidos para Portugal são da produção a carvão, fuel, ciclo combinado a gás natural, albufeiras, fios de água, importação, exportação, PRE hidráulico, PRE térmico, PRE fotovoltaico, PRE ondas, bombagem e o consumo. Para Espanha os dados fornecidos são da produção de energia nuclear, carvão, fuel/gas, ciclo combinado a gás natural, hidráulica, eólica, intercâmbios internacionais, enlace balear, solar fotovoltaica, solar térmica, térmica renovável, cogeração e resto, e o consumo. Algumas variáveis apresentam valores residuais ou pouco significativos como o fuel, PRE ondas, fuel/gas e o enlace balear, sendo por isso ignorados.

Foi necessário uniformizar as variáveis entre Portugal e Espanha para ser possível comparar os dois casos e posteriormente obter os dados da Península Ibérica. Em Portugal a soma da produção das albufeiras e dos fios de água representa a produção hídrica, a PRE fotovoltaica representa a energia solar que no caso espanhol será a soma da produção solar térmica e fotovoltaica, as PRE hidráulica e térmica juntam-se para formar o resto da PRE que equivalem à soma de térmica renovável, cogeração e resto em Espanha. Em Portugal os dados da bombagem são conhecidos enquanto que em Espanha estão incluídos na hídrica. Desta forma, para uma primeira análise de gráficos só para Portugal considera-se a bombagem em separado na variável "bombagem + consumo" enquanto que para os dados da Península Ibérica e posteriormente no clustering foram uniformizados para serem incluídos na hídrica como no caso espanhol subtraindo o valor da bombagem no valor da hídrica. Para o preço foi apenas considerada a sessão de mercado diária utilizando o preço português. A diferença de preço entre Portugal e Espanha é muito residual e por isso foi considerado o mesmo preço para os três casos. Foram também criadas as variáveis temporais que representam a hora, dia da semana, dia do mês, mês e ano.

Para facilitar o tratamento de dados foi criado um código representativo de cada hora e que é igual para os períodos de 10 e 15 minutos de cada hora. Assim, através das fórmulas do EXCEL, é possível trabalhar os valores de cada período de 10 ou 15 minutos da mesma hora num só através da sua média. Este código permite também fazer a soma dos valores portugueses com os espanhóis, formando os dados da Península Ibérica. Os dados da Península Ibérica são a soma dos dados em Portugal e Espanha nas respetivas variáveis e para a mesma hora de cada país. Ou seja, a produção às 12 horas em Portugal é somada com a produção das 12 horas em Espanha.

Por fim, é calculado o valor médio para os diferentes períodos a analisar e que representa a potência média do período escolhido. Como exemplo, o cálculo do consumo no mês de janeiro de todos os anos em Portugal tem uma potência média de 6091MW. Este valor é obtido através da média de todos os valores da potência instantânea referentes ao mês de janeiro.

A análise dos dados é feita através de gráficos, considerando diferentes variáveis temporais mas sempre para o período total dos dados. Ou seja, quando são analisados meses, horas ou dias da semana, os valores são a média de todos os valores dessa variável para todo o período em estudo. A análise será feita para os três casos.

Os gráficos apresentam dois eixos verticais em que o eixo principal representam a potência média em MW e o eixo secundário o preço em euro/MWh. Os limites dos eixos variam consoante o caso para melhor análise, principalmente o do preço, por isso é necessário ter especial atenção para a comparação de casos. O eixo horizontal varia consoante as variáveis temporais a utilizar.

Foi utilizado um sistema de cores baseado nas cores dos gráficos da REN e REE de forma a facilitar a perceção dos dados. Assim, os gráficos dos três casos são visualmente iguais. As PRE são consideradas separadamente, no entanto foi criada uma linha que representa a soma da PRE e é assim possível comparar com a soma da térmica que está na base dos gráficos.

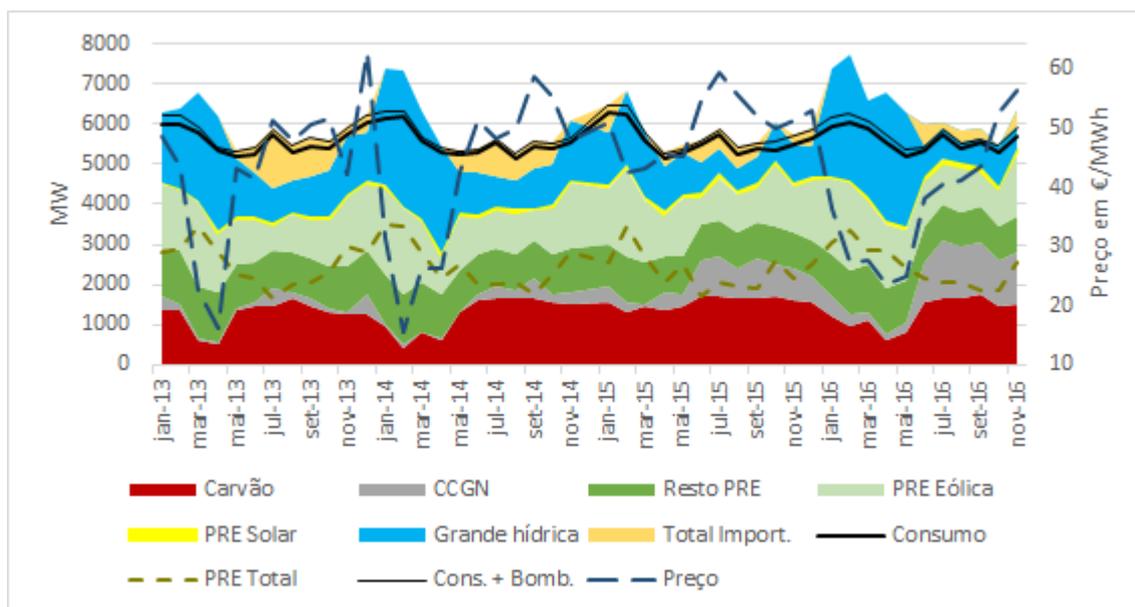


Figura 3.1: Evolução do despacho, cargas e preços em Portugal entre 2013 e 2016.

## 3.1 Portugal

Neste subcapítulo são analisados diversos diagramas com as médias do despacho, carga e preços. Em primeiro lugar é feita uma análise muito geral à evolução do despacho, cargas e preços de todo o período em estudo com intervalos mensais. Com maior detalhe, é feita e uma análise aos diagramas mensal, horário e por dia da semana.

O diagrama 3.1, permite verificar que não existem alterações de despacho, carga e preço muito significativas ao longo dos anos do período considerado. Os valores das variáveis de produção mantêm um comportamento semelhante de ano para ano com subidas e descidas em períodos específicos como é o caso da PRE que apresenta valores mais elevados em fevereiro e valores mais baixos entre julho e setembro. Ainda assim, existem algumas situações que com comportamento diferente. Em 2015, entre fevereiro e abril, verifica-se uma menor produção de energia hídrica suprimida pela produção térmica. A variável preço também reagiu a essa alteração não apresentando valores baixos nesse período como nos outros anos. No final de 2016 também é possível identificar uma utilização muito elevada de produção em CCGN em vez de hídrica que apresenta valores baixos comparativamente aos períodos homólogos dos anos anteriores.

### 3.1.1 Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços

O diagramas de médias mensais do despacho, carga e preço em Portugal, figura 3.2, é analisado em seguida. O consumo médio de todos os meses foi de 5588MW, atingindo o máximo de 6128MW em fevereiro e o mínimo, 5228MW, em maio. A bombagem média foi de 156MW, com o mínimo de 110MW que ocorre em junho e o máximo de 220MW em dezembro.

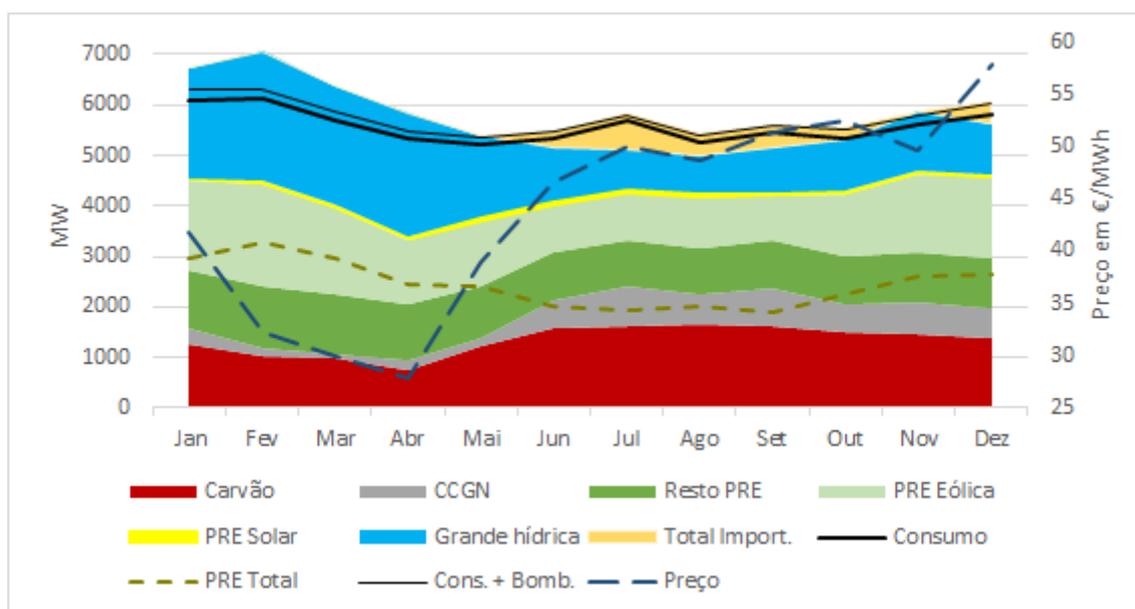


Figura 3.2: Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços em Portugal.

Relativamente às variáveis de produção e preço, numa primeira análise, é possível identificar dois períodos que despertam mais interesse, fevereiro a abril e junho a setembro. No período de fevereiro a abril destacam-se claramente a elevada produção de hídrica e PRE, os valores elevados de exportação e os preços muito baixos. O período de junho a setembro destaca-se por ter um maior volume de produção térmica do que PRE. Neste período encontram-se os valores mais baixos de PRE e os valores mais elevados tanto de produção com carvão como de CCGN.

Fevereiro é o mês com o consumo mais elevado como referido anteriormente e a produção de hídrica é a mais elevada do ano atingindo o máximo de potência média, 2572MW. No entanto, atinge o maior peso no mix energético em abril com a produção de 46% do consumo. Em fevereiro, o total da PRE atinge o seu pico com a produção de 54% do consumo através de 3288MW de potência média. A PRE beneficia dos valores muito elevados de eólica que também atinge o seu pico neste mesmo mês com 2021MW de potência média representando um peso de 33% no consumo. No entanto, de fevereiro a abril existe uma redução considerável de produção eólica que se reflete na redução da PRE total. As produções com carvão e CCGN são as mais baixas do ano com potências médias inferiores a 1000MW e 200MW respetivamente. Isto corresponde aproximadamente 15% do consumo para o carvão e 2% para o CCGN. A exportação é elevada principalmente em fevereiro onde chega a atingir 738MW de potência média representando 12% do consumo em Portugal. O impacto nos preços deste comportamento das variáveis, é um valor médio baixo de 30€/MWh aproximadamente. O valor mínimo acontece em abril que coincide com o maior peso da produção hídrica no mix energético e menor peso da produção com carvão. Os valores médios de consumo são também baixos.

No período de junho a setembro, o pico da produção com carvão acontece em agosto com uma potência média de 1650MW que representa 31% do consumo. Ainda assim, os restantes meses deste período apresentam valores muito aproximados. A produção em CCGN também atinge o seu pico em julho e setembro com uma potência média de 789MW e 745MW respetivamente, que representam 14% do consumo nesses meses. A PRE representa aproximadamente 36% do consumo médio neste período que é o seu valor mais baixo. Isso deve-se à produção eólica que atinge os seus valores mínimos. A produção de energia solar atinge os seus valores mais elevados mas não é relevante contribuindo apenas para 2% do consumo. Mesmo sendo um período de Verão, julho é o mês com maior importação, 695MW de potência média, com um peso de 12% no consumo. Os preços foram elevados a rondar os 50€/MWh.

Outro período que desperta interesse é o mês de Dezembro que apresenta o valor mais elevado do preço com uma diferença destacada. Feita uma comparação com os períodos anteriores, verifica-se valores elevados do consumo, PRE, carvão e CCGN apesar de um pouco inferiores aos períodos de fevereiro-abril para a PRE e junho-setembro para o carvão e CCGN. A produção hídrica é baixa e a importação elevada, cerca de 445MW de potência média que representa 8% do consumo. Aproximadamente metade da importação é utilizada para bombagem sendo este o valor mais elevado do ano. Os restantes meses são períodos com valores intermédios entre os períodos analisados anteriormente. Nos seguintes diagramas será feita a análise particular aos meses de fevereiro, maio, agosto e outubro de forma a aprofundar a análise feita neste diagrama.

### 3.1.2 Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços

O diagrama de médias horárias, representado na figura 3.3, permite analisar o comportamento do sistema eletroprodutor português ao longo das horas de todos os dias do período em análise.

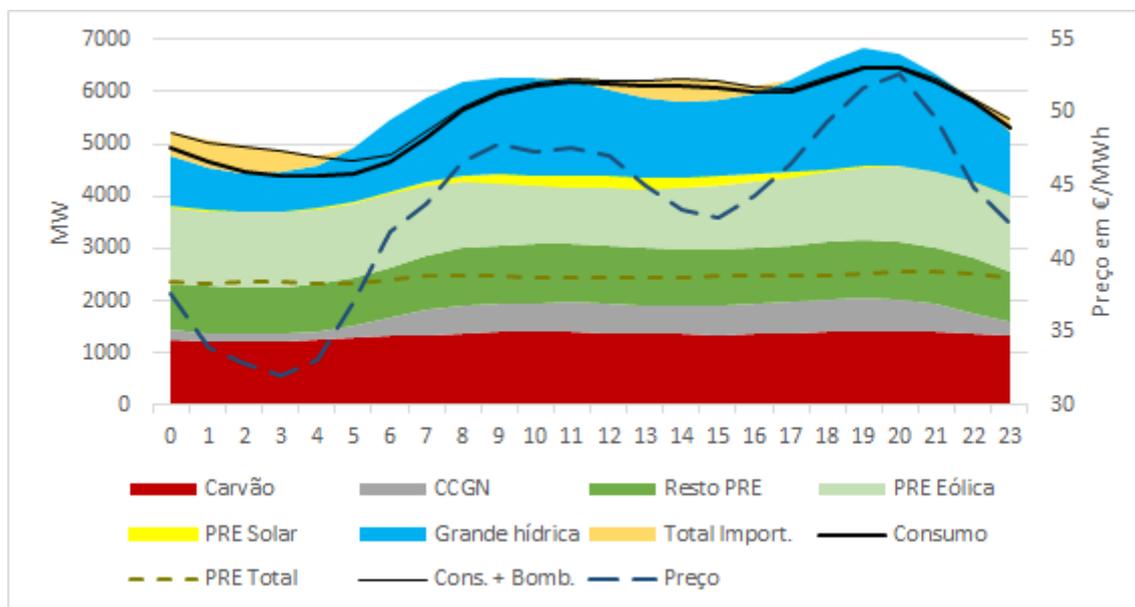


Figura 3.3: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal.

A linha do consumo tem uma variação elevada que é dividida em horas de vazio, de cheia e de ponta. As horas de ponta são as horas em que o consumo atinge os valores mais elevados como às 19 horas com 6454MW de potência média. Assim são considerados os períodos de ponta entre as 10 e 14 horas e entre as 18 e 21 horas. As horas de vazio são as horas em que o consumo é o mais baixo como às 4 horas em que este atinge o valor mais baixo mínimo, 4384MW. O período considerado de horas vazio será entre as 0 e as 7 horas. Os restantes períodos representam as horas de cheia.

A produção com carvão acompanha ligeiramente a linha do consumo e do preço com um pico de produção pelas 19 e 20 horas. De uma forma geral, representa 26% a 29% do consumo em horas de vazio e 23% fora de vazio. A PRE tem de forma global uma produção superior ao conjunto das térmicas em PRO. O pico de produção acontece pelas 20 horas com aproximadamente 40% do consumo e uma potência média de 2556MW mas que representa um dos valores mais baixos do seu peso no consumo. Valores ligeiramente mais baixos ocorrem nas horas de vazio mas que representam aproximadamente 52% do consumo com aproximadamente 2350MW de potência média. A contribuição da produção eólica acontece com valores mais elevados nas horas de vazio atingindo 33% do consumo e apenas 18% em horas de ponta com potências médias de 1458MW e 1102MW respetivamente. Já a produção solar apenas produz energia entre as 5 e as 18 horas atingindo o seu máximo pelas 12 com uma potência média de 216MW que equivalem a 4% do consumo. A produção com CCGN acompanha a curva do consumo com valores baixos nas

horas de vazio e mais altos em horas de ponta. De uma forma geral representa 4% do consumo nas horas de vazio com 155MW de mínimo e 9% em horas fora de vazio com 631MW de valor máximo. Por fim, a produção hídrica também acompanha a linha do consumo mas ainda mais destacada. Apresenta valores mais baixos nas horas de vazio e valores mais altos nas horas de ponta chegando a atingir 35% do consumo com 2241MW de potência média. Nas horas de vazio com menor produção ronda os 18% do consumo, 816MW. Os preços também variam com o consumo apresentando valores aproximados a 50€/MWh nas horas de ponta e 35€/MWh nas horas de vazio.

As figuras 3.4 e 3.5 permitem fazer uma comparação desta análise nos meses de fevereiro e agosto e verificar o seu impacto. No anexo A podem também ser consultados os meses de maio e outubro nas figuras A.1 e A.2.

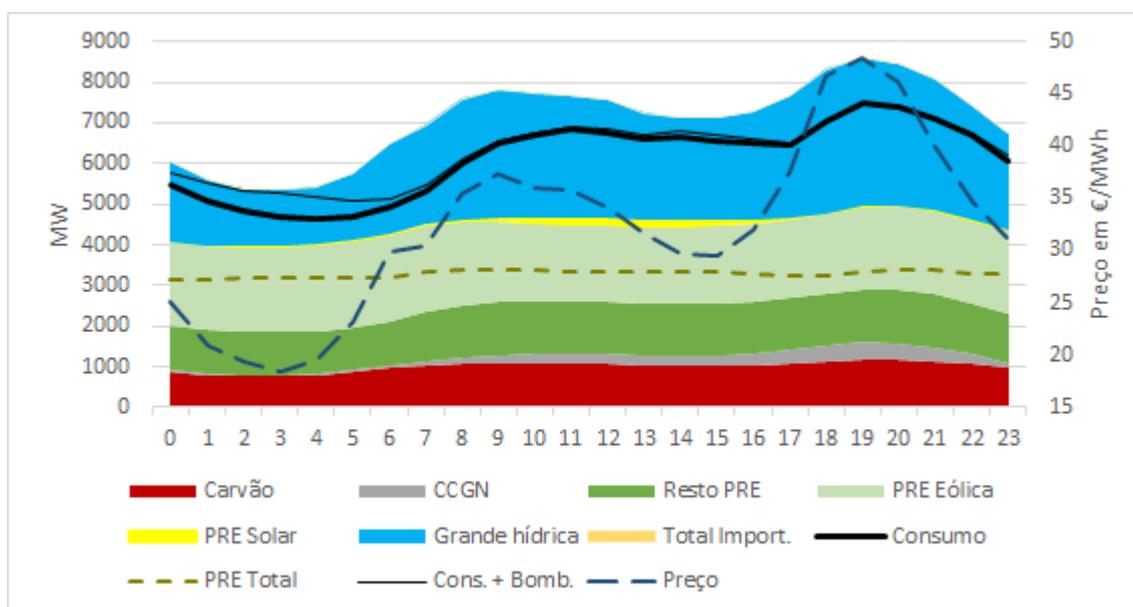


Figura 3.4: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de fevereiro.

Como verificado anteriormente, fevereiro apresenta valores de consumo mais elevado e agosto valores mais reduzidos. Em fevereiro, o consumo é mais elevado às 19 horas com 7477MW de potência média e o seu valor mais baixo acontece às 4 horas com 4651MW. Já agosto tem uma variação de 6021MW às 20 horas para 4461MW às 5. Os valores mínimos do consumo não variam muito nos dois casos correspondendo ao valor médio. A bombagem acontece nos dois casos nas horas de vazio com valores máximos de 566MW em Fevereiro e 431MW em maio.

A produção com carvão acompanha a linha do consumo em fevereiro mantendo um peso de 16% do consumo durante todas as horas com um valor médio de 1006MW. Em agosto o valor médio é de 1650MW com uma variação de 36% do consumo no vazio e 29% nas horas de maior consumo. A produção em CCGN mais uma vez responde ao consumo tendo como valor mais alto 416MW em horas de ponta relativamente a fevereiro e 827MW relativamente a agosto. Isto

corresponde a 6% e 14% respetivamente. A PRE é bastante dominante em fevereiro com valores próximos de 3300MW de potência média atingindo valores de 69% do consumo em horas de vazio e 45% em horas de ponta. Em agosto os valores de produção são mais variáveis com um valor mínimo de 1832MW pelas 11 horas que representa 32% do consumo. O valor mais elevado de produção acontece pelas 17 horas e atinge os 2200MW enquanto que o peso de 45% do consumo acontece nas horas de vazio. A produção hídrica responde às mudanças no consumo nos dois casos com maior produção nas horas de maior consumo. Em fevereiro os valores variam entre 1381MW e 3677MW e atinge valores de 30% do consumo em horas de vazio e 51% em horas de ponta. Em agosto a variação é de 228MW para 1203MW com pesos nos consumos de 5% e 20%. Relativamente a intercâmbios, estes dois meses representam situações opostas. Fevereiro tem um saldo exportador elevado enquanto que agosto necessita de importar energia em certos períodos. No primeiro caso, Portugal chega a exportar valores equivalentes 28% do seu consumo, entre as 6 e 7 horas, e 18% em horas de ponta o que equivale a 1459MW e 1263MW respetivamente. Em agosto os valores maiores de importação ocorrem para o período de vazio com um peso de 19% do consumo, 807MW. No período entre as 13 e 14 horas o peso da importação é de 13% do consumo. Por fim, o preço varia com o consumo em ambos os casos sendo que em fevereiro varia entre 20€/MWh e 45€/MWh e em agosto varia entre 40€/MWh e 55€/MWh.

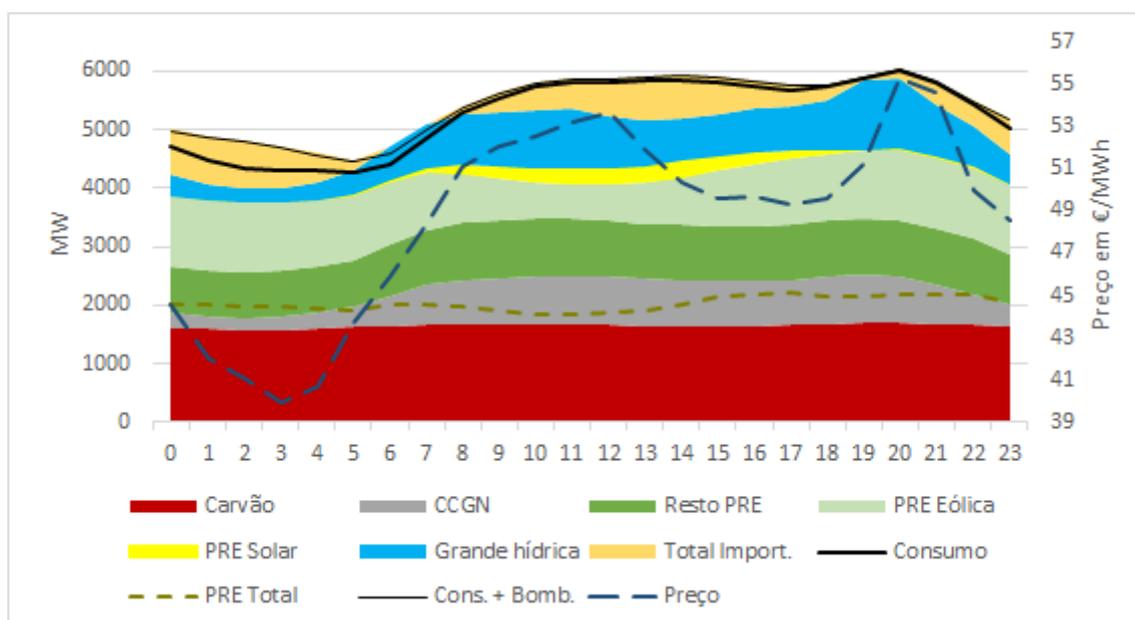


Figura 3.5: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto.

### 3.1.3 Caracterização de médias por dia da semana do despacho, carga e preços

Na figura 3.6 encontra-se o diagrama de cargas médias por dia da semana considerando os dias todos dos dados em análise. A linha do consumo é bastante constante durante os dias de semana, com uma ligeira descida na segunda e sexta-feira, apresentando valores de potência média

próximos de 5800MW. Os dias de fim-de-semana apresentam consumos mais baixos sendo que domingo se destaca com o valor mais baixo, 4822MW. O consumo para bombagem realiza-se principalmente ao domingo com uma potência média de 253MW e é constante durante os dias de semana com valores aproximados a 132MW subindo ligeiramente no sábado. A produção com carvão acompanha a linha de consumo mantendo um peso de 24% do mesmo durante toda a semana. A potência média varia entre 1137MW ao domingo até 1430MW na quinta-feira. A PRE durante os dias de semana representa 43% do consumo, aproximadamente 2500MW. No domingo o seu peso sobe para 48% do consumo apesar de ter o valor mais baixo de produção de toda a semana, 2299MW. Já no sábado produz 46% do consumo. A produção eólica e solar são bastante constantes durante toda a semana, 1330MW e 70MW respetivamente. Assim, a produção eólica produz 23% do consumo durante os dias de semana, 26% ao sábado e 28% ao domingo enquanto que a produção solar apresenta valores entre 1% e 1,5%. A produção em CCGN reage à linha de consumo com valores elevados quando o consumo é alto e valores muito baixos quando o consumo é baixo. O peso é de 3% e 6% do consumo no domingo e sábado respetivamente e 9% do consumo durante os dias de semana. Relativamente à produção hídrica, durante os dias de semana produz 27% do consumo, 1580MW, enquanto que ao domingo produz 25%, 1205MW, acompanhando a variação do consumo e mantendo um peso no mix energético praticamente constante. A importação ocorre apenas ao fim-de-semana onde no domingo atinge 7% do consumo e no sábado é residual. Já nos dias de semana existe exportação residual. O preço apresenta o valor mais baixo ao domingo de 36€/MWh, intermédio no sábado de 40€/MWh e aproximadamente 46€/MWh durante os dias de semana seguindo a variação do consumo.

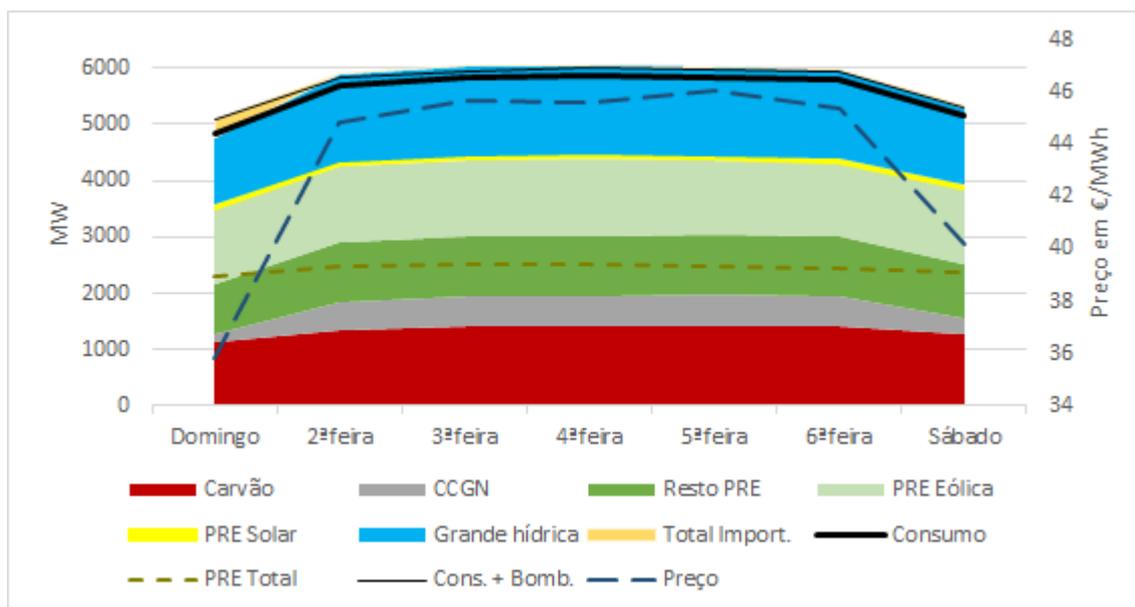


Figura 3.6: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Portugal.

## 3.2 Espanha

Através do diagrama 3.7, é possível analisar a variação dos valores médios do despacho, carga e preços dos diferentes meses do período em análise. É possível verificar picos de consumo fevereiro e julho e alguns comportamentos diferentes. O ano de 2016 tem um saldo importador ao contrário dos outros anos e em 2015, tal como em Portugal, não apresenta preços tão baixos no período de fevereiro como nos períodos homólogos.

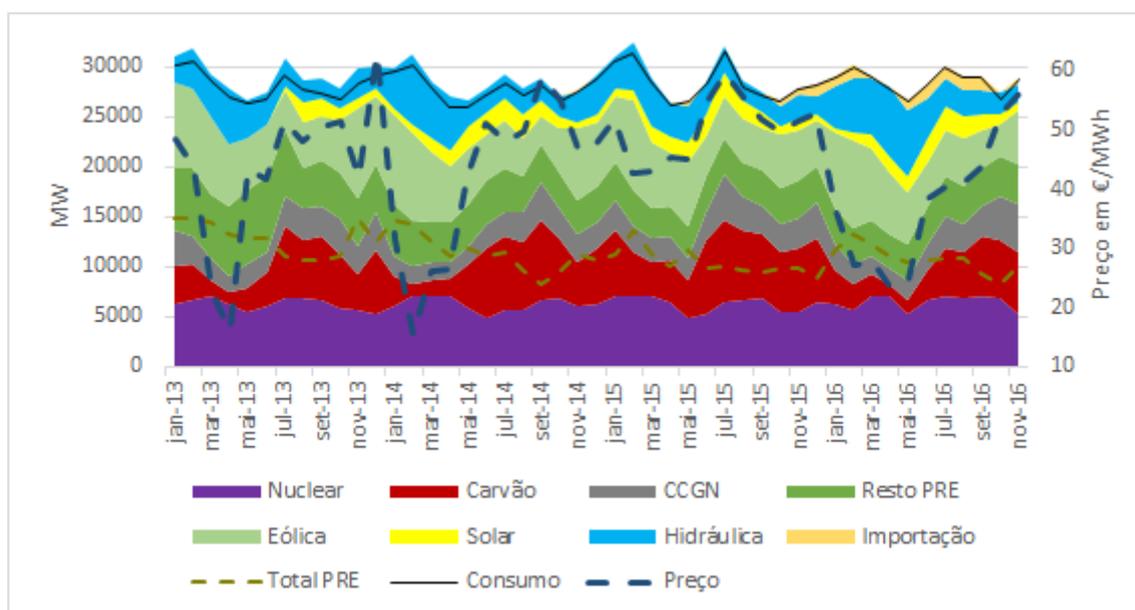


Figura 3.7: Evolução do despacho, cargas e preços em Espanha entre 2013 e 2016.

### 3.2.1 Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços

A figura 3.8 corresponde ao diagrama mensal das médias do despacho, carga e preços em Espanha. O consumo médio de todos os meses é de 28193MW, cinco vezes superior ao consumo médio português verificado no diagrama equivalente. Tal como em Portugal, o consumo máximo acontece em fevereiro com 30525MW de potência média enquanto que maio apresenta o valor mais reduzido com 26323MW. Ao contrário de Portugal, a bombagem está incluída na produção hídrica. Espanha, para além dos tipos de produção utilizados por Portugal, tem produção de energia nuclear contribuindo para que tenha em geral uma média mensal de produção térmica superior à PRE ao contrário de Portugal. A produção com nuclear não apresenta variações muito grandes com maior produção em fevereiro com uma potência média de 7006MW correspondentes a 25% do consumo enquanto que maio corresponde a 20% do consumo com 5297MW de potência média.

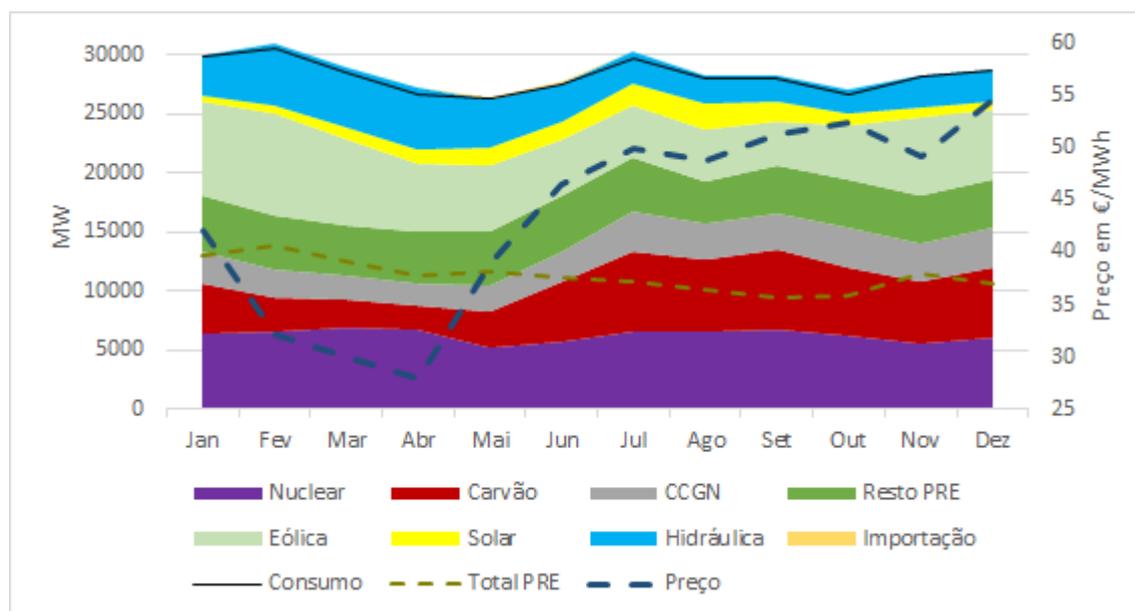


Figura 3.8: Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços em Espanha.

É possível destacar dois períodos, tal como em Portugal, que são de fevereiro a abril e de julho a setembro. No período de fevereiro a abril destaca-se a PRE mais elevada que a produção térmica ao mesmo tempo que os preços são os mais baixos. O período de Julho a Setembro destaca-se pelo maior volume de produção térmica. Neste período encontram-se os valores mais baixos de PRE e os valores mais elevados tanto de produção com carvão como de CCGN.

Fevereiro é o mês com o pico do consumo com uma potência média de 30525MW. Entre fevereiro e abril existe maior produção de hídrica atingindo o seu máximo de potência média em abril, 5313MW, correspondente ao maior peso no mix energético desta variável com 20% do consumo. Em fevereiro, o total da PRE atinge o seu pico com 45,5% do consumo através de 13904MW de potência média. Como em Portugal, a PRE beneficia dos valores muito elevados de eólica que também atinge o seu pico em fevereiro com 8658MW de potência média que corresponde a 28% no consumo. Aqui também existe uma redução considerável de produção eólica até abril e meses seguintes que se reflete na redução da PRE total. As produções com carvão e CCGN são as mais baixas do ano ao contrário da produção com nuclear que apresenta os valores mais elevados. Em abril a produção com carvão e CCGN atingem o valor mais baixo com 2115MW e 1843MW respetivamente que corresponde aproximadamente a 8% do consumo para o carvão e 7% para o CCGN. A produção nuclear atinge o pico em Março com 7006MW de potência média correspondente a 25% do consumo. Este período corresponde a exportação elevada que atinge em abril 516MW de potência média que corresponde a 2% do consumo em Espanha. Como em Portugal, os preços apresentam valores muito baixos de 30€/MWh aproximadamente. O valor mínimo acontece em abril que coincide com o maior peso da produção hídrica e exportação no mix, menor produção com carvão e CCGN um consumo baixo.

O pico da produção com carvão acontece em Julho com uma potência média de 6874MW que

representa 23% do consumo. Os restantes meses do período julho-setembro apresentam valores próximos. A produção em CCGN não atinge o seu pico mas apresenta valores elevados próximos de 3200MW, que representa aproximadamente 11% do consumo. O pico de produção em CCGN acontece em outubro com uma potência média de 3426MW, 13% do consumo. Em setembro a PRE atinge o seu valor mínimo de potência média com 9420MW que corresponde a 34% do consumo. Mais uma vez, isso deve-se à produção eólica que atinge os seus valores mínimos. Em agosto a produção a energia solar atinge o seu pico com uma potência média de 2083MW correspondentes a 8% do consumo. Ao contrário de Portugal, a energia solar é relevante no mix energético. É um período exportador mas com valores não superiores a 1% do consumo. Os preços são elevados a rondar os 50€/MWh. Os restantes meses são períodos com valores intermédios entre os períodos analisados com maior pormenor. Nas restantes variáveis temporais são estudados os meses de fevereiro, maio, agosto e outubro como em Portugal.

### 3.2.2 Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços

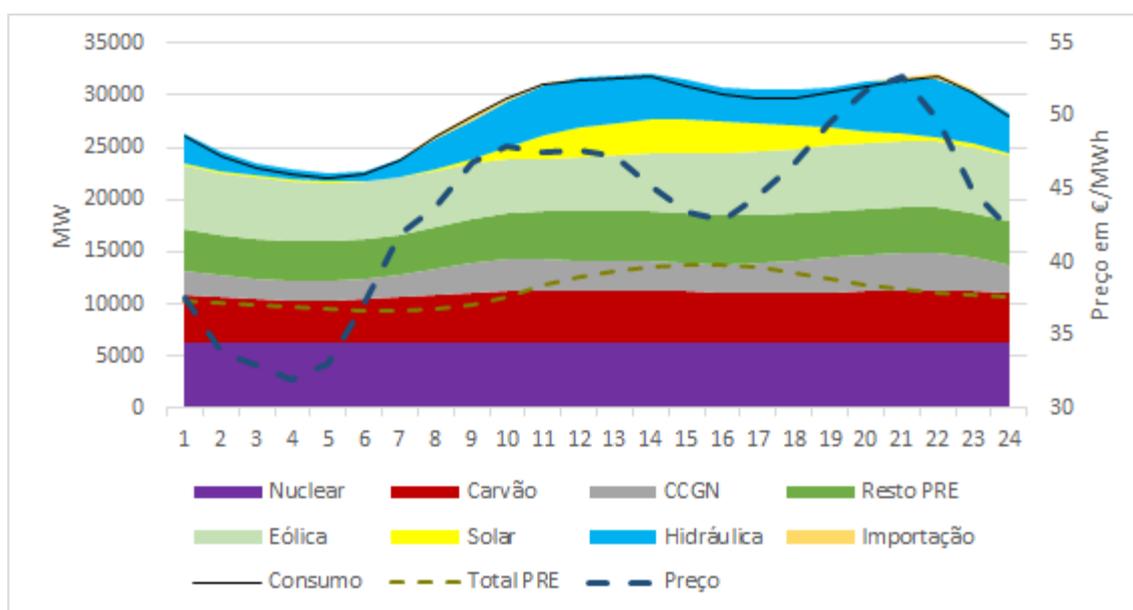


Figura 3.9: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha.

A figura 3.9 representa o diagrama de cargas horário espanhol. As horas são classificadas como horas de vazio, de cheia e de ponta. O período de vazio decorrem entre as 0 e as 7 horas e o de ponta está dividido em dois, entre as 10 e 14 horas e entre as 20 e 21. A curva de consumo tem como valor mais baixo 22123MW referente às 4 horas e às 21 atinge o valor mais elevado, 31792MW.

A produção de energia nuclear apresenta valores de produção constantes durante todas as horas mas como existe variação no consumo o seu peso no mix energético varia. Para as horas de vazio representa 28% do consumo enquanto que em horas de ponta 20%. A produção com

carvão acompanha ligeiramente a linha do consumo atingindo o pico de produção pelas 21 horas com uma potência média de 5051MW, que equivale a 16% do consumo que é a percentagem geral nas horas fora de vazio. Nas horas de vazio representa 18% do consumo com uma potência média de 4100MW. A PRE atinge o seu pico de produção pelas 14 horas com uma potência média de 13697MW correspondentes a 44% do consumo atingindo mesmo 46% na hora seguinte. Às 21:00, com a existência de um consumo elevado e valores mais baixos de produção representa apenas 35% do consumo. Nas horas de vazio produz aproximadamente 41% do consumo que corresponde aproximadamente a 9700MW de potência média. A produção eólica contribui com uma maior produção entre 18 e as 22 horas atingindo 20% do consumo, 6300MW de potência média, e apenas 16% às 10:00 correspondentes a 5071MW. Atinge 26% do consumo em horas de vazio. A produção com energia solar tem um pico de produção entre 9 e 19 horas atingindo o seu máximo pelas 13 com uma potência média de 3231MW que equivale a 10% do consumo. Nas restantes horas tem uma produção residual representando 1% do consumo. A produção em CCGN acompanha a curva do consumo com valores baixos nas horas de vazio e mais altos em horas de ponta. Produz aproximadamente 9% do consumo em horas de vazio, valor mais baixo às 4 horas com uma potência média de 1935MW, e atinge 12% às 20 horas com 3623MW de potência média. A produção hídrica acompanha linha do consumo apresentando valores mais baixo nas horas de vazio e valores mais altos nas horas de ponta. Chega a atingir 18% do consumo mesmo sendo a hora em que este está mais elevado com uma potência média de 5661MW. Nas horas de vazio com valores mais reduzido, produz aproximadamente 4% do consumo. Os períodos do dia de importação são das 7 às 10 horas e das 20 às 22. O valor mais elevado ocorre às 8 horas com 578MW de potência média correspondentes a 2,1% do consumo. Entre as 16 e 18 horas corresponde ao período de maior exportação com 2% do valor do consumo. Os preços acompanham também a curva do consumo com preços baixos em horas de vazio e mais elevados em horas de ponta.

### 3.2.3 Caracterização de médias por dia da semana do despacho, carga e preços

A figura 3.10 representa o diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Espanha considerando os dias todos dos dados em análise. Tal como em Portugal, a linha do consumo é bastante constante durante os dias de semana, com uma ligeira descida na segunda e sexta-feira, apresentando valores de potência média próximos de 29300MW. Os dias de fim-de-semana apresentam consumos mais baixos com o destaque para domingo com 24351MW de potência média. A energia nuclear tem uma produção bastantes constante durante todos os dias da semana com uma potência média de 6278MW. Desta forma o seu peso na produção relativamente ao consumo diminui para consumos mais elevados. Durante os dias de semana produz cerca de 21,5% do consumo e no fim-de-semana 27% e 24% para domingo e sábado respetivamente.

A produção com carvão acompanha a evolução da linha de consumo relativamente à produção. Potência média de 3386MW no domingo e 5171MW de terça a sexta-feira. Estes valores representam 14% e 18% do consumo respetivamente. Segunda-feira e sábado apresentam uma potência média de 4673MW e 4127MW respetivamente referentes a 16% do consumo. A PRE produz 39%

do consumo durante a semana que corresponde a uma potência média de 11424MW. Já no domingo produz 45% do consumo correspondentes a 11005MW que é o valor mais baixo durante a semana. A produção eólica e solar são bastante constantes durante toda a semana, 5800MW e 1250MW respetivamente. Assim, a produção eólica produz 20% do consumo durante os dias de semana, 22% sábado e 24% domingo enquanto que a produção solar apresenta valores entre 4% e 5% do consumo. A produção em CCGN acompanha a linha de consumo com valores elevados durante os dias de semana e mais reduzidos ao fim-de-semana. O peso é de 8% do consumo no fim-de-semana e 10% do consumo durante os dias de semana. A potência média no domingo é de 1977MW e durante os dias de semana aproximadamente 3000MW. Relativamente à produção hídrica, durante os dias de semana produz 13% do consumo, 3750MW, enquanto que ao domingo produz 9%, 2096MW, acompanhando a linha do consumo. Existe exportação todos os dias da semana mas com valores muito reduzidos entre 0 e 1% do consumo. Ainda assim é possível destacar domingo e quarta-feira com os valores mais elevados de exportação. A linha do preço é igual a Portugal com o valor mais baixo ao domingo de 36€/MWh, intermédio no sábado de 40€/MWh e aproximadamente 46€/MWh durante os dias de semana seguindo a variação do consumo.

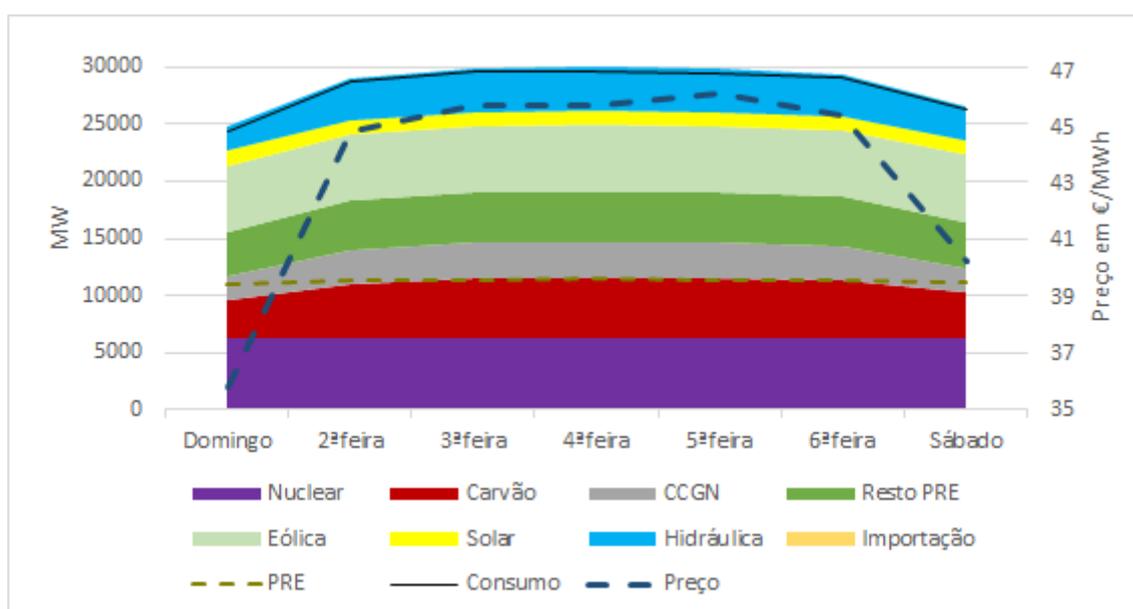


Figura 3.10: Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Espanha.

### 3.3 Península Ibérica

O diagrama de cargas da Península Ibérica reflete os casos particulares de Portugal e Espanha como um só mantendo as suas proporções. Assim, Espanha tem maior influência uma vez que tem um consumo médio mensal 5 vezes superior ao português. De uma forma geral, os tipos de produção vão representar a soma das médias de produção dos dois países para a mesma hora local. Em todas as variáveis, a grande diferença será a variável da importação que representa os

intercâmbios entre com países adjacentes à Península Ibérica e não a soma dos intercâmbios nos casos particulares.

Na figura 3.11 é possível observar a evolução da produção da Península Ibérica que segue principalmente as variações de Espanha. Um diferença que se destaca relativamente aos casos particulares é o início do ano 2016, entre janeiro e maio, onde é possível observar um saldo exportador da península ibérica. Nas figuras 3.1 e 3.7 é possível observar o elevado valor de exportação de Portugal e saldo importador em Espanha. No caso conjunto o consumo é satisfeito e ainda existe saldo exportador. Em sentido inverso, no período entre e setembro de 2014, a exportação de Espanha não satisfaz as necessidades importadores de Espanha traduzindo-se num saldo importador da Península Ibérica.

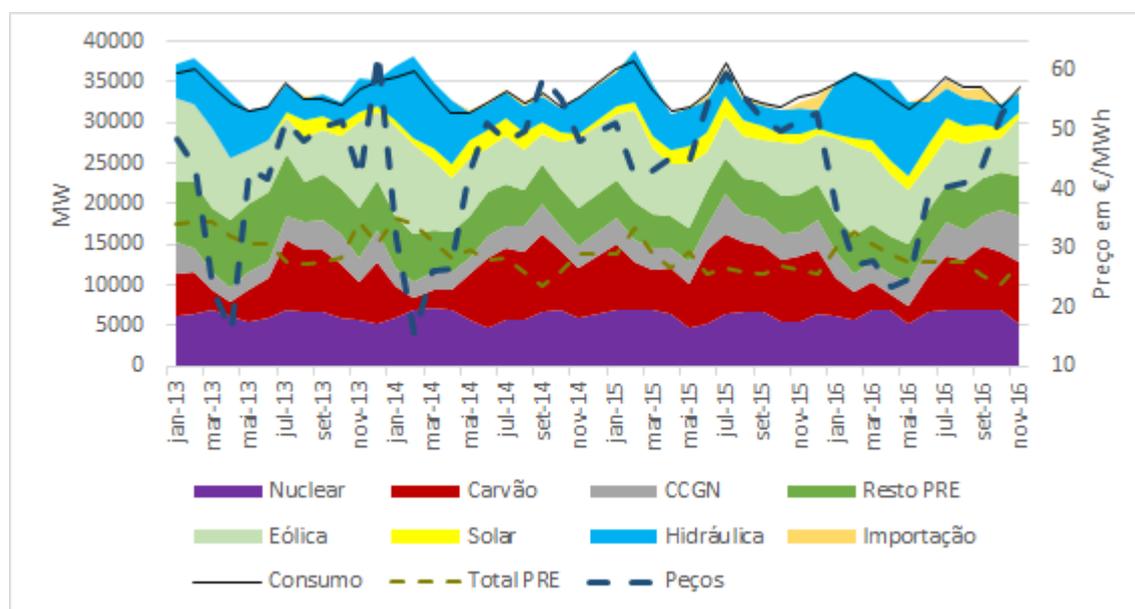


Figura 3.11: Evolução da Produção de Energia na Península Ibérica entre 2013 e 2016.

### 3.3.1 Caracterização de médias mensais do despacho, carga e preços

A linha do consumo, tal como nos dois casos anteriores, atinge o máximo em fevereiro e o mínimo em maio com 36654MW e 31552MW de potência média respetivamente. O valor médio de todos os meses é de 33779MW. É possível observar a diminuição do peso no mix energético da produção nuclear em relação Espanha uma vez que o consumo é superior e valores de produção são os mesmos. Assim em março e abril a produção de nuclear tem os valores mais elevados que representam 21% do consumo e em maio os valores mais baixos, 17% do consumo. A produção com carvão atinge o seu máximo em julho e setembro tal como no caso espanhol com uma potência média a rondar os 8400MW, aproximadamente 24% do consumo. O valor mínimo ocorre em abril com uma potência média de 2882MW que representa 9% do consumo. O CCGN atinge o pico de produção em Dezembro com uma potência média de 3787MW equivalente a 12% do consumo ainda que o valor da produção seja próximo deste valor desde Julho. Entre fevereiro e abril o

CCGN representa 7% do consumo com uma potência média de 2221MW sendo que em abril é o mês com menor produção. A hídrica tem os valores de produção mais elevados entre fevereiro e abril com um potência média aproximada de 7600MW que representa entre 21% e 24% do consumo. Dezembro é o mês de menor produção que representa apenas 8% do consumo ainda que agosto e outubro tenham uma produção e peso no mix energético pouco superior. Como nos casos de Portugal e Espanha, a PRE atinge o seu máximo em fevereiro com uma potência média de 17192MW equivalentes a 47% do consumo. Janeiro e maio aproximam-se dos valores de fevereiro com valores a rondar os 44% do consumo. Mais uma vez, a produção eólica tem uma grande influência com 29% do consumo em fevereiro. A produção solar atinge o seu pico em agosto com uma potência média de 2180MW que representa 7% do consumo. A exportação atinge o máximo de potência média com 1053MW em fevereiro. Este valor representa 3% do consumo. Em dezembro encontra-se o período com maior importação, 2% do consumo. Aqui, o caso português tem bastante influência impondo um saldo importador entre maio e setembro assim como dezembro uma vez que a exportação de energia por parte de Espanha não é suficiente para suprir as necessidades portuguesas.

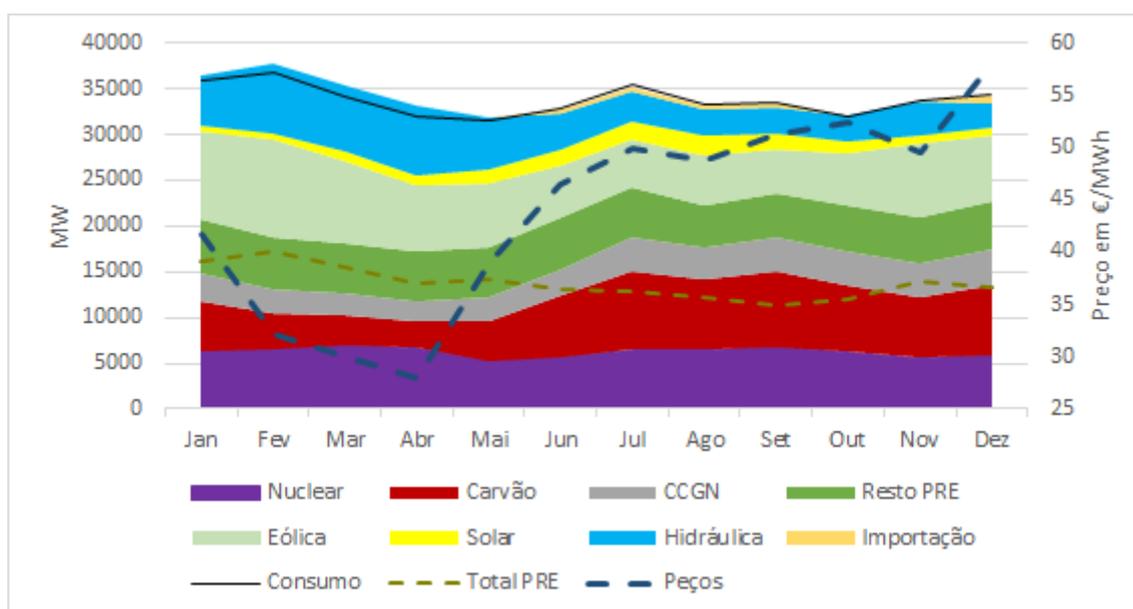


Figura 3.12: Diagrama de médias mensais do despacho, carga e preços na Península Ibérica.

### 3.3.2 Caracterização de médias horárias do despacho, carga e preços

A figura 3.13 é a representação do diagrama de cargas médias horárias na Península Ibérica. A linha do consumo permite determinar as horas de vazio, cheia e ponta. Para este caso, as horas de vazio consideradas são entre a 0 e as 7 horas enquanto que as horas de ponta referem-se aos períodos entre as 10 às 14 e entre 19 às 21. As restantes horas representam períodos de cheia. O valor máximo verificado corresponde a 37940MW que acontece às 21 horas enquanto que o valor mínimo acontece às 4 com 26520MW. A médias dos valores de todas as horas é de 33731MW.

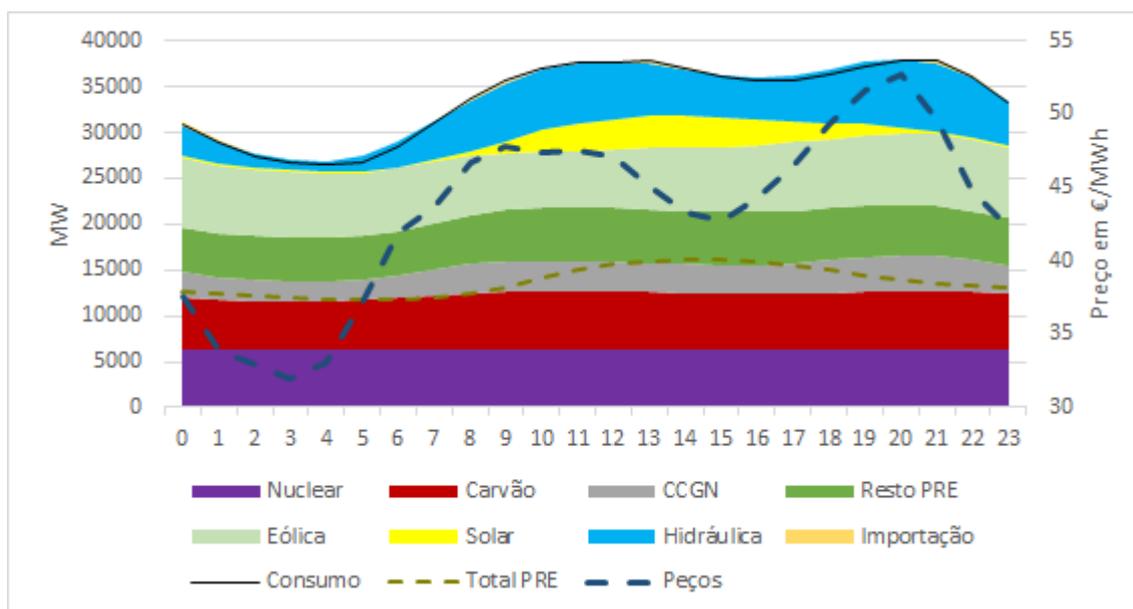


Figura 3.13: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica.

A produção com nuclear apresenta valores constantes e representa cerca de 22% do consumo nas horas de vazio e 17% nas horas de ponta. Já o carvão, como nos casos anteriores, acompanha ligeiramente a linha do consumo apresentando valores mais altos nas horas de ponta e mais baixos nas horas de vazio. No entanto, a diferença de valores não é muito grande com 6433MW de potência média às 21 horas de valor máximo e 5263MW às 3 horas de valor mínimo. Esta variável representa 19% do consumo nas horas de vazio e 17% nas restantes horas. A produção com CCGN acompanha de forma clara a linha de consumo em que representa 9% deste nas horas de vazio com uma potência média de 2500MW. Nas horas de ponta entre as 19 e 21 encontra-se o máximo da produção com 3888MW que equivale a 10% do consumo. A PRE atinge o valor máximo entre as 13 e as 16 horas, 16207MW que coincide com o máximo da produção solar. Relativamente ao consumo, varia entre 36% e 45% do mesmo sendo que os valores mais elevados acontecem nas horas de vazio e quando valores elevados de eólica e solar coincidem. A produção através de energia solar, acontece com maior impacto entre as 9 e 19 atingindo 9% do consumo no pico de produção. Nas restantes horas tem uma produção de aproximadamente 1% do consumo. Por sua vez, a eólica não tem variações muito elevadas mas tem maior produção à noite entre as 19 e 23, 7700MW. Varia entre 17% e 27% na altura de menor produção. O valor mais baixo de potência média acontece às 10:00 com 6173MW. Por fim, a produção hídrica tem uma grande variação acompanhando o consumo. Nas horas de ponta entre as 19 e 21 chega a atingir uma potência média de 7442MW correspondentes a 20% do consumo. Nas horas de vazio, tem uma produção reduzida como por exemplo às 4 horas com uma potência média de 1156MW que são 4% do consumo. A importação apresenta dois períodos exportadores relevantes, entre as horas 5 e 6 e entre as 16 e 18. A potência média é de aproximadamente 600MW e representa 2% do consumo. As restantes horas variam entre exportação e importação com valores não muito relevantes. O

preço comporta-se como nos casos de Portugal e Espanha.

### 3.3.2.1 Caracterização de médias por dia da semana do despacho, carga e preços

A figura 3.14 apresenta o diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica. Como nos casos anteriores a linha do consumo é quase constante durante os dias de semana e atinge o seu valor mais baixo no domingo. Sábado apresenta um valor intermédio. A Nuclear e as PRE apresentam valores constantes independentemente dos dias da semana enquanto que as restantes variáveis de produção acompanham a linha do consumo com valores constantes durante os dias de semana e o valor mais baixo no domingo. A produção com nuclear representa 21% do consumo ao domingo e 18% nos dias de semana. Por sua vez, a PRE tem um peso de 47% do consumo ao domingo e durante a semana aproximadamente 40%. Respetivamente, o contributo da eólica para esses valores são 25% e 20% do consumo enquanto que a produção solar contribui com 5% e 4%. A produção com carvão durante os dias de semana contribui para 18% do consumo e ao domingo 16%. Já o CCGN tem um contributo de 8% do consumo ao domingo e 10% nos dias de semana. Por fim, a produção hídrica representa 15% do consumo nos dias de semana e apenas 10% ao domingo. Os intercâmbios apresentam valores residuais. A evolução do preço é igual aos casos anteriores.

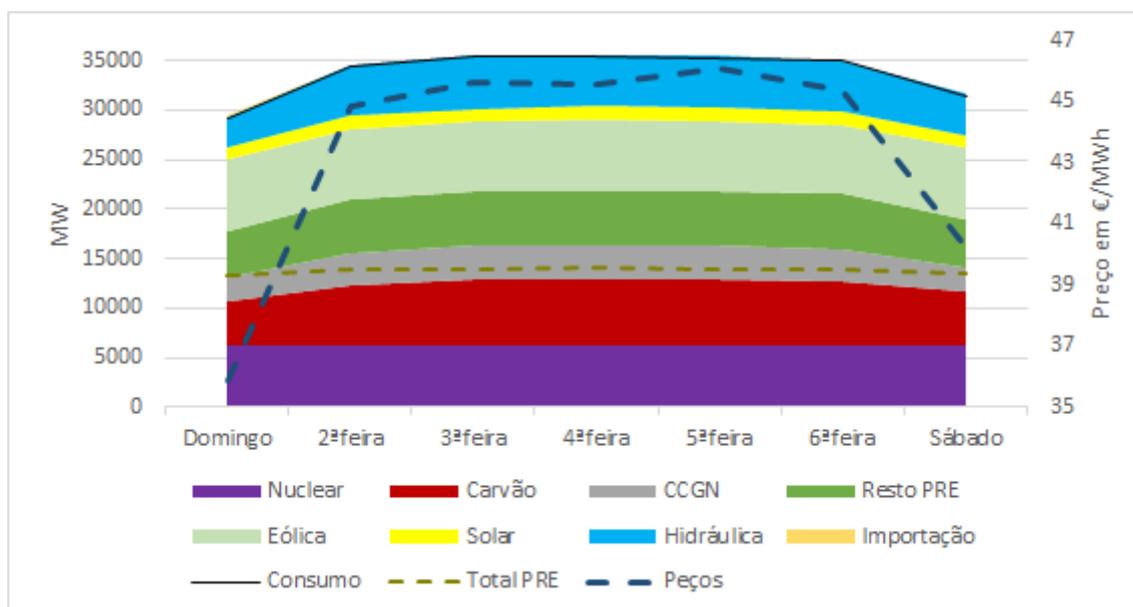


Figura 3.14: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica.



## Capítulo 4

# Metodologia de Clustering

Este capítulo descreve a metodologia utilizado na caracterização de padrões de produção aplicados aos dados trabalhados no capítulo 3. Primeiro, é feita uma breve introdução às técnicas de clustering e descrito o algoritmo *Fuzzy C-means* (FCM) utilizado neste trabalho. Em seguida é descrita a metodologia de análise no processo de preparação de dados antes e após a aplicação das técnicas de clustering. As ferramentas de tratamento de dados e aplicação do algoritmo FCM foram o EXCEL e MATLAB respetivamente.

### 4.1 Algoritmos de clustering

Clustering é um método de análise de dados que consiste em agrupar dados com comportamento semelhante - cluster. A técnica de clustering utilizada neste trabalho baseia-se no algoritmo *Fuzzy C-means* (FCM) [16] que visa minimizar a função objetivo apresentada em 4.1, ou seja, minimizar a soma das distâncias dos dados a um determinado centro de um cluster. Em seguida são apresentadas as equações fundamentais deste algoritmo.

$$J_m = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (4.1)$$

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m} \quad (4.2)$$

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \frac{\|x_i - c_j\|^{\frac{2}{m-1}}}{\|x_i - c_k\|^{\frac{2}{m-1}}}} \quad (4.3)$$

Onde:

- D - é o número de pontos dos dados;
- N - é o número de clusters;
- m - peso atribuído à pertença;

- $x_i$  - dado  $i$  do conjunto de dados;
- $c_j$  - centro do cluster  $j$ .
- $\mu_{ij}$  - grau de pertença do ponto  $x_i$  a  $c_j$ ;

O algoritmo é inicializado com valores aleatórios para  $\mu_{ij}$  no cálculo dos centros dos cluster na equação 4.2 sendo depois recalculado pela equação 4.3. A função objetivo, dada na equação 4.1, é então calculada para estes valores. Este processo é feito para um determinado número de iterações ou quando o valor do erro da função objetivo seja satisfatório [16].

## 4.2 Tratamento de dados

Os resultado dos dados obtido no capítulo 3, necessitam de ser adaptados no EXCEL para aplicar as técnicas de clustering de forma eficiente.

As variáveis a considerar são a hora, o dia da semana, a produção com nuclear, carvão, CCGN, hídrica com bombagem incluída, PRE total, importação/exportação e o preço. Estas variáveis foram escolhidas pela sua importância e influência no despacho.

Como o processo de clustering funciona através da minimização da distância dos pontos ao centro do cluster, é necessário normalizar os dados de forma a poderem ser comparados entre si. Para a produção foi utilizada como base o consumo referente ao momento de produção, ou seja, os valores de produção de cada variável numa determinada hora foram divididos pelo consumo total dessa mesma hora. Assim, a influência do consumo também está presente em que as variáveis de produção representam o peso relativo ao consumo no mix energético daquele preciso momento. O preço foi normalizado pelo preço máximo presente no período em estudo que é 116€/MWh. A hora e dia da semana foram divididos por 24 e 7 respetivamente.

O resultado final são 3 matrizes com 8 colunas para Portugal e 9 colunas para Espanha e Península Ibérica. A diferença do número de variáveis deve-se ao facto de Portugal não ter produção de energia nuclear. As linhas representam os dados de cada hora associados às variáveis anteriores. Temos assim os dados prontos a ser utilizados na função FCM do MATLAB para as 3 situações. Para além da matriz de dados é necessário definir o número de clusters. Para tentar perceber qual a melhor opção de número de clusters, foram testados 20, 50 e 100 clusters.

## 4.3 Definição dos Clusters

Com os dados de entrada definidos, é necessário também definir os parâmetros da função FCM a utilizar no MATLAB. A função tem 4 parâmetros que podem ser regulados: peso atribuído às pertenças referido nas equações 4.1, 4.2 e 4.3; o número máximo de iterações da função objetivo; diferença mínima do valor da função objetivo entre iterações; impressão dos valores da função objetivo a cada iteração no display do MATLAB. Este último, como o valor da função objetivo não tem relevância, é ignorado. Dos restantes parâmetros, apenas foi alterado o peso atribuídos às

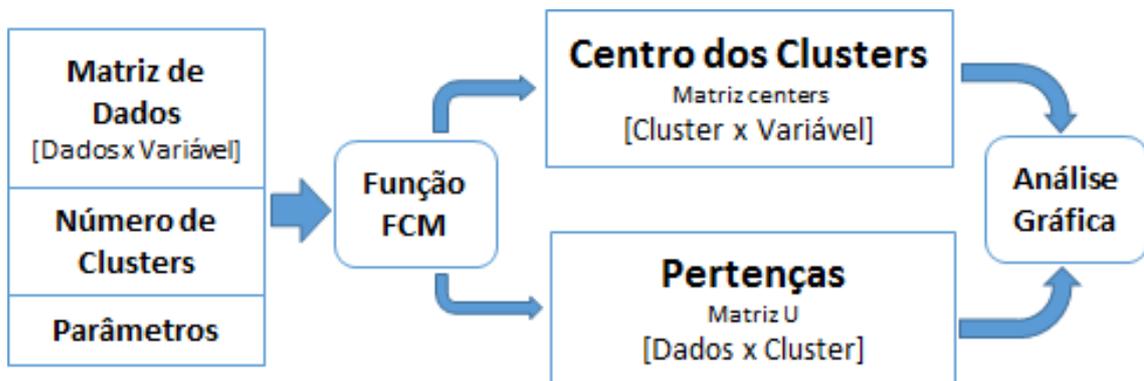


Figura 4.1: Metodologia para a análise dos dados através de Clusters.

pertenças relativamente ao valor por defeito que é 2,0. O valor utilizado foi o valor mínimo que é 1,1 de forma a minimizar a sobreposição dos clusters uma vez que temos uma grande quantidade de dados muito condensados. Assim, cada dado terá um grau de pertença mais elevado para apenas um cluster. As outras definições usadas para estes parâmetros foram de um máximo de 100 iterações e uma diferença mínima na função objetivo de  $1 \times 10^{-5}$ . A função vai efetuar iterações até que um destes dois últimos parâmetros atinja o limite.

Como resultados temos duas matrizes, uma com o centro dos clusters - matriz centers - e outra com os graus de pertença - matriz U. Esta última tem que ser transposta ao passar para o EXCEL para ser possível associar aos dados das horas.

A matriz centers é a matriz que tem os dados dos centros dos clusters, com o número de linhas igual ao número de clusters escolhidos e o número de colunas igual ao número de variáveis. Na matriz U temos o grau de pertença dos dados de cada hora a cada cluster com valores entre 0 e 1. Isto significa que, uma vez que alteramos o parâmetro que define a sobreposição para um valor baixo, os dados vão ter um grau de pertença muito próximo de 1 a um cluster específico sendo que o grau de pertença aos outros clusters será próximo de 0.

Tabela 4.1: Exemplo de uma parte da matriz centers associada às variáveis. Caso de Portugal para 20 clusters com 8 dimensões.

Cluster	Hora	Dia Sem	Carvão	CCGN	Hydro	PRE	EXP	Preço
1	0,21	0,84	0,10	0,01	0,46	0,72	0,27	0,13
2	0,83	0,86	0,28	0,10	0,17	0,39	-0,07	0,48
...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	0,33	0,41	0,21	0,04	0,54	0,39	0,18	0,34
20	0,29	0,42	0,30	0,07	0,19	0,62	0,18	0,42

A partir das duas matrizes, centers e U, é necessário tratar esses dados novamente no EXCEL de forma a serem facilmente analisados. A partir da matriz U, vamos associar as pertenças aos dados das horas e ao cluster com maior grau de pertença. Para isso procuramos o maior grau de pertença por cada hora. Na tabela 4.2 podemos ver um exemplo da matriz de pertenças e o seu

tratamento de dados. As colunas de 1 a 20 são os dados da matriz U que foram associados aos dados das horas. A coluna "max" procura o maior grau de pertença e a coluna "cluster" imprime o cluster correspondente. Assim os dados da hora 0 do dia 1 de Janeiro de 2013 correspondem ao cluster 14.

Tabela 4.2: Exemplo de uma pequena parte da matriz U. Caso de Portugal com 20 clusters.

data	1	2	3	4	...	17	18	19	20	max	cluster
1-1-13 0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99	14
1-1-13 1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	14
1-1-13 2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	14
1-1-13 3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	14
1-1-13 4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	14
1-1-13 5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	14
1-1-13 6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	14
1-1-13 7:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	15
1-1-13 8:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	15
1-1-13 9:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,07	0,00	0,00	0,00	0,70	15
1-1-13 10:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,93	0,00	0,00	0,00	0,93	17
1-1-13 11:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,89	0,00	0,00	0,00	0,89	17
1-1-13 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,99	0,00	0,00	0,00	0,99	17

#### 4.4 Representação gráfica

Uma vez definidos todos os clusters e respetivos dados, é necessário analisá-los. Foram criados 6 gráficos que relacionam as diferentes variáveis e estão todos relacionados entre si. Desta forma é possível analisar vários comportamentos ao mesmo tempo de uma forma simples. As relações entre variáveis utilizadas foram:

- **Hora e dia da semana:** permite identificar o período a que o grupo de dados se refere como os períodos de semana ou fim-de-semana e horas de cheia ou vazio. O eixo horizontal representa as horas de 0 a 23 e o vertical os dias da semana de 1 a 7 em que 1 é domingo e 7 é sábado.
- **Carvão e CCGN:** estas duas fontes de energia térmica têm papéis diferentes no despacho sendo que o CCGN é utilizado para complementar a restante térmica para satisfazer períodos com consumos elevados. Os eixos horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de produção com carvão e CCGN relativamente ao consumo.
- **Nuclear e carvão (em ES e IB):** são ambas centrais de base e têm um funcionamento bastante constante. É interessante perceber a variação do seu peso no mix energético com as alterações do consumo. Os eixos horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de produção com nuclear e carvão relativamente ao consumo.

- **PRE e exportação (em PT):** a PRE está em grande parte dependente de fontes de energia renovável e por isso dependente das condições climáticas. Desta forma podemos ter maior produção em alturas com menor consumo e é interessante perceber os intercâmbios internacionais. Os eixo horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de PRE e exportação relativamente ao consumo.
- **Importação e preço (em ES e IB) ou exportação e preço (em PT):** é importante perceber o impacto dos intercâmbios nos preços. Os eixo horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de importação relativamente ao consumo e o preço em €/MWh.
- **CCGN e hídrica:** estas duas variáveis variam bastante com o consumo e as restantes produções. Será interessante observar como ambas se comportam em diferentes cenários. Os eixo horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de produção em CCGN e hídrica relativamente ao consumo. Valores negativos de hídrica significa que está a haver bombagem.
- **Hídrica e PRE:** são as duas variáveis com peso elevado no mix energético e que têm variações de produção elevadas. Os eixo horizontal e vertical representam respetivamente a percentagem de produção hídrica e PRE relativamente ao consumo. Valores negativos de hídrica significa que está a haver bombagem.

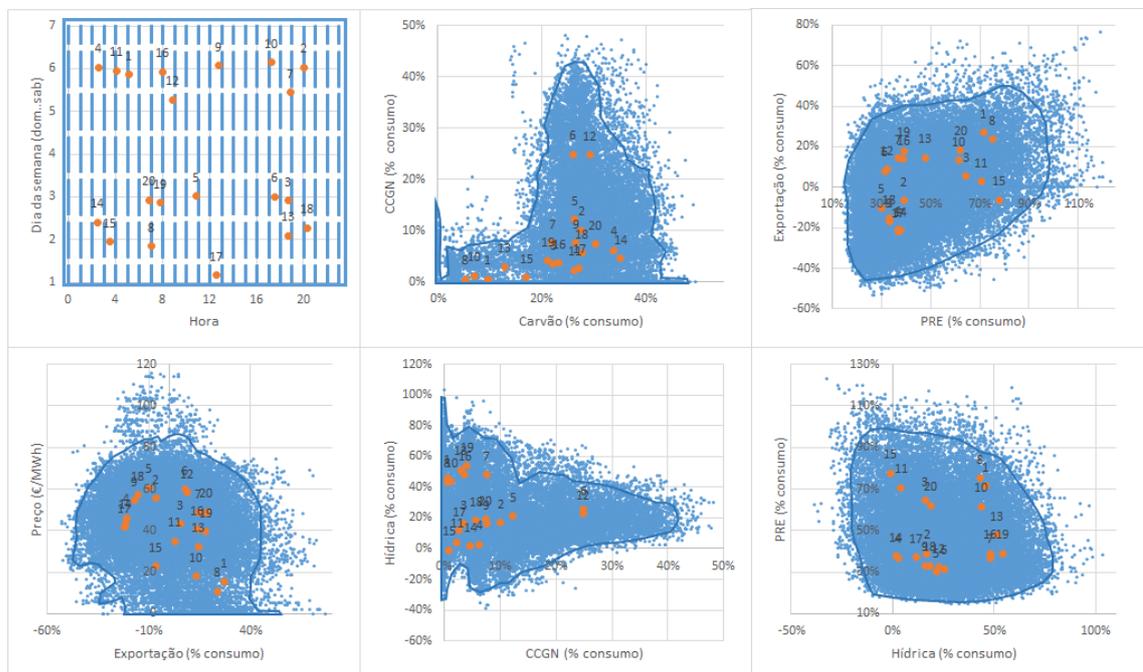


Figura 4.2: Gráfico para 20 clusters, Portugal.

Os gráficos apresentam duas séries de dados, a azul os dados iniciais do processo de clustering e a laranja os centros dos clusters obtidos na matriz centers. Os eixos dos gráficos são fixos e

foram desenhados, através das formas do excel, os limites dos dados com maior densidade. As partes menos densas ficam de fora porque foram consideradas casos mais esporádicos e assim não influenciam na análise de determinados clusters. Filtrando os dados para um cluster específico podemos observar o comportamento desse mesmo cluster enquadrando com o resto dos dados. Para melhor visualização e compreensão, os gráficos apresentam a hora, dia da semana e o preço não normalizados. Nas imagens 4.2 e 4.3 é possível observar o que foi descrito anteriormente para o caso português com 20 clusters. Pode-se ver todos os clusters na primeira imagem e apenas um na segunda. Na figura 4.3 observa-se a importância dos limites dos dados na análise comparativa do cluster com todos os dados. Através de uma simples análise gráfica, é possível perceber que este cluster representa períodos entre domingo e terça-feira das 0 à 12 horas. Os valores de produção com carvão e CCGN são muito reduzidos ao contrário da PRE e da produção hídrica que são elevados. Os valores de exportação são também elevados e os preços baixos. De referir que os valores referem-se à percentagem da produção relativamente ao consumo, ou seja, o valor de produção em potência média pode ser o mesmo para duas situações onde o consumo seja diferente provocando pesos diferentes no mix energético. Neste caso, quando há maior consumo, o peso dessa variável no mix energético é menor do que quando há menor consumo. Também é necessário referir que a análise quantitativa das variáveis neste trabalho refere-se ao seu valor global. Por exemplo, a PRE tem uma amplitude de valores entre 15% e 100% do consumo e quando o seu valor é de 30% considera-se baixo apesar de 30% em termos absolutos não ser baixo.

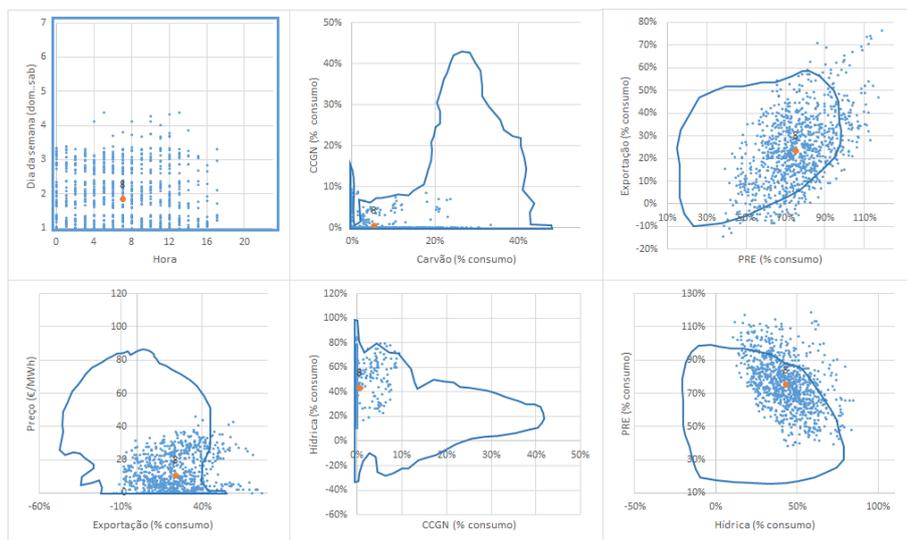


Figura 4.3: Exemplo dos gráficos criados para analisar os clusters. Representação do cluster 8 do caso português com 20 clusters.

## 4.5 Agrupamento de clusters

Para comparar diferentes clusters que possam ter comportamentos idênticos e fazer possíveis agrupamentos, foi construída uma tabela que compara todos os clusters através do módulo da distância entre eles. Nessa tabela as colunas e as linhas são os clusters e as células os respectivos valores do módulo da distância. Para maximizar os resultados, não foram incluídas a hora e o dia da semana uma vez que os pontos são distribuídos de uma forma uniforme e os pontos extremos como as horas 0 ou 23 ou os dias da semana 1 ou 7 poderiam influenciar o aumento do módulo da distância. Para facilitar essa análise foi adicionada uma formatação condicional de forma a colorir as células que tenham valores inferiores a um determinado valor de referência. A figura 4.4 mostra o exemplo para o caso português com 20 clusters e um valor de referência de 0,20. A linha diagonal está colorida porque compara o cluster consigo mesmo e portanto o módulo é zero que é inferior ao valor de referência. Os resultados são simétricos à linha diagonal porque a comparação entre clusters é repetida mas fazendo a comparação inversa como por exemplo quando compara o 1 com o 2 e o 2 com o 1. As outras células coloridas são as células que apresentam módulos da distância inferiores ao valor de referência e por isso os clusters que poderão ser agrupados após análise mais detalhada. Por exemplo, os clusters 1 e 8 apresentam um valor do módulo da sua distância inferior ao valor de referência escolhido e possivelmente poderão ser agrupados. Para isso deve ser feita a análise gráfica para confirmar a proximidade. Na figura 4.5 podemos ver os dois clusters no mesmo gráfico.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0,000	0,681	0,463	0,819	0,750	0,686	0,489	0,080	0,758	0,176	0,538	0,689	0,312	0,817	0,587	0,438	0,747	0,755	0,422	0,468	0,534
2	0,681	0,000	0,313	0,230	0,116	0,240	0,385	0,705	0,123	0,562	0,403	0,233	0,489	0,254	0,530	0,401	0,215	0,117	0,475	0,348	0,341
3	0,463	0,313	0,000	0,424	0,420	0,432	0,436	0,474	0,402	0,391	0,160	0,421	0,423	0,426	0,308	0,418	0,394	0,401	0,476	0,169	0,368
4	0,819	0,230	0,424	0,000	0,275	0,439	0,586	0,829	0,178	0,692	0,433	0,423	0,660	0,034	0,512	0,583	0,124	0,203	0,660	0,498	0,430
5	0,750	0,116	0,420	0,275	0,000	0,224	0,387	0,777	0,116	0,621	0,518	0,231	0,519	0,303	0,636	0,416	0,252	0,100	0,486	0,445	0,380
6	0,686	0,240	0,432	0,439	0,224	0,000	0,314	0,725	0,321	0,589	0,547	0,047	0,469	0,464	0,687	0,364	0,430	0,313	0,417	0,388	0,405
7	0,489	0,385	0,436	0,586	0,387	0,314	0,000	0,543	0,452	0,398	0,581	0,333	0,209	0,600	0,711	0,083	0,521	0,433	0,114	0,396	0,399
8	0,080	0,705	0,474	0,829	0,777	0,725	0,543	0,000	0,777	0,183	0,535	0,728	0,359	0,826	0,558	0,492	0,755	0,777	0,482	0,503	0,555
9	0,758	0,123	0,402	0,178	0,116	0,321	0,452	0,777	0,000	0,622	0,473	0,320	0,550	0,204	0,571	0,464	0,142	0,042	0,538	0,462	0,376
10	0,176	0,562	0,391	0,692	0,621	0,589	0,398	0,183	0,622	0,000	0,483	0,597	0,209	0,692	0,524	0,344	0,606	0,621	0,345	0,438	0,455
11	0,538	0,403	0,160	0,433	0,518	0,547	0,581	0,535	0,473	0,483	0,000	0,527	0,555	0,425	0,189	0,555	0,427	0,481	0,614	0,269	0,436
12	0,689	0,233	0,421	0,423	0,231	0,047	0,333	0,728	0,320	0,597	0,527	0,000	0,484	0,446	0,673	0,377	0,423	0,313	0,432	0,370	0,403
13	0,312	0,489	0,423	0,660	0,519	0,469	0,209	0,359	0,550	0,209	0,555	0,484	0,000	0,667	0,646	0,159	0,574	0,540	0,143	0,424	0,420
14	0,817	0,254	0,426	0,034	0,303	0,464	0,600	0,826	0,204	0,692	0,425	0,446	0,667	0,000	0,499	0,593	0,129	0,229	0,670	0,503	0,439
15	0,587	0,530	0,308	0,512	0,636	0,687	0,711	0,558	0,571	0,524	0,189	0,673	0,646	0,499	0,000	0,678	0,493	0,588	0,732	0,445	0,528
16	0,438	0,401	0,418	0,583	0,416	0,364	0,083	0,492	0,464	0,344	0,555	0,377	0,159	0,593	0,678	0,000	0,510	0,447	0,078	0,389	0,389
17	0,747	0,215	0,394	0,124	0,252	0,430	0,521	0,755	0,142	0,606	0,427	0,423	0,574	0,129	0,493	0,510	0,000	0,169	0,586	0,488	0,399
18	0,755	0,117	0,401	0,203	0,100	0,313	0,433	0,777	0,042	0,621	0,481	0,313	0,540	0,229	0,588	0,447	0,169	0,000	0,521	0,453	0,375
19	0,422	0,475	0,476	0,660	0,486	0,417	0,114	0,482	0,538	0,345	0,614	0,432	0,143	0,670	0,732	0,078	0,586	0,521	0,000	0,439	0,431
20	0,468	0,348	0,169	0,498	0,445	0,388	0,396	0,503	0,462	0,438	0,269	0,370	0,424	0,503	0,445	0,389	0,488	0,453	0,439	0,000	0,395

Figura 4.4: Matriz de comparação entre clusters.

É possível perceber que a grande diferença entre os dois clusters são os dias da semana. Ainda assim, ambos abrangem situações que acontecem durante os dias de semana e fim de semana sempre em horas de vazio. Os valores de produção, intercâmbios e preço são muito idênticos. Desta forma, pode-se concluir que os clusters podem ser agrupados. Representam uma situação em que a PRE e a hídrica têm uma percentagem de produção relativamente ao consumo muito reduzidas em comparação aos valores globais. Em sentido contrário, a produção com carvão e

a importação representam uma percentagem elevada do consumo. a produção com CCGN têm valores médios. Esta situação deverá corresponder a um período de Verão.

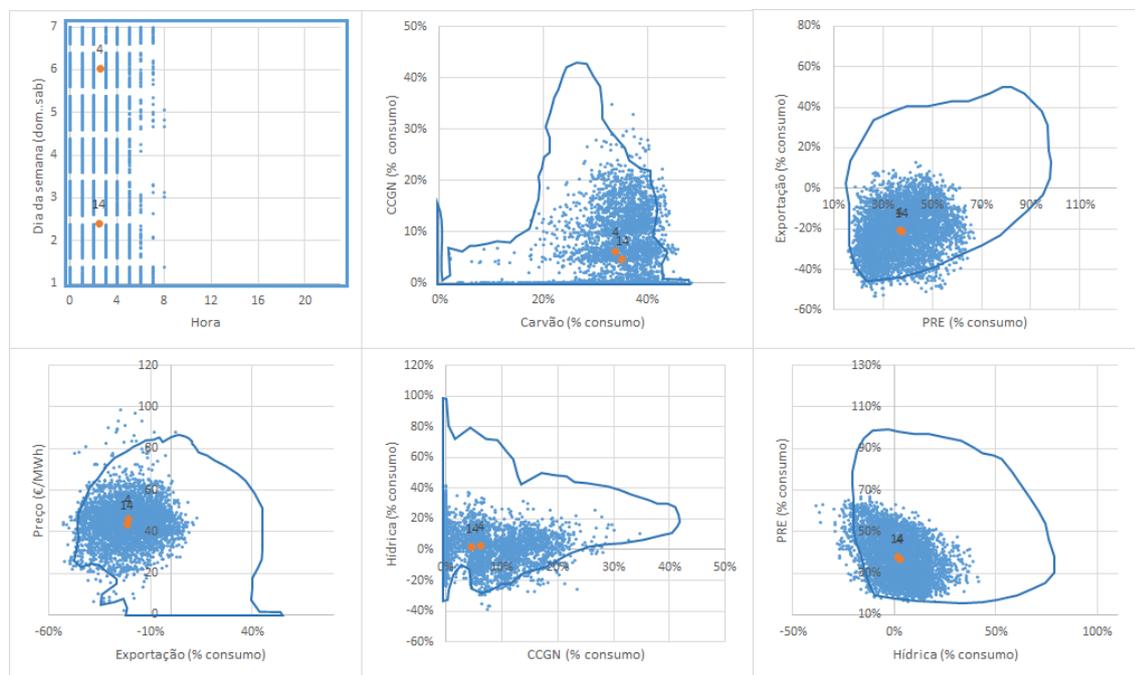


Figura 4.5: Análise dos clusters 4 e 14 para possível agrupamento do caso português com 20 clusters.

## 4.6 Escolha do número de clusters

A escolha do número de cluster é importante para se obter o máximo de padrões de produção mas ao mesmo tempo não haver sobreposição de dados. O conjunto de dados neste trabalho é muito volumoso e a existência de vários clusters possíveis é bastante evidente considerando o número de variáveis temporais, de produção e o preço. No entanto, para esta técnica desenvolvida, não é possível analisar números muito elevados de clusters uma vez que exigiria um trabalho muito demorado e trabalhoso. Assim, foram estudadas três variantes com 20, 50 e 100 clusters. Através da análise na busca de clusters entre as 3 situações, concluiu-se que a opção de 50 clusters é a que apresenta valores mais satisfatórios. Nas figuras 4.6 e 4.7 é possível ver os centros dos clusters nas opções para 50 e 100 clusters respetivamente. O caso de 20 clusters está no exemplo anterior, figura 4.2

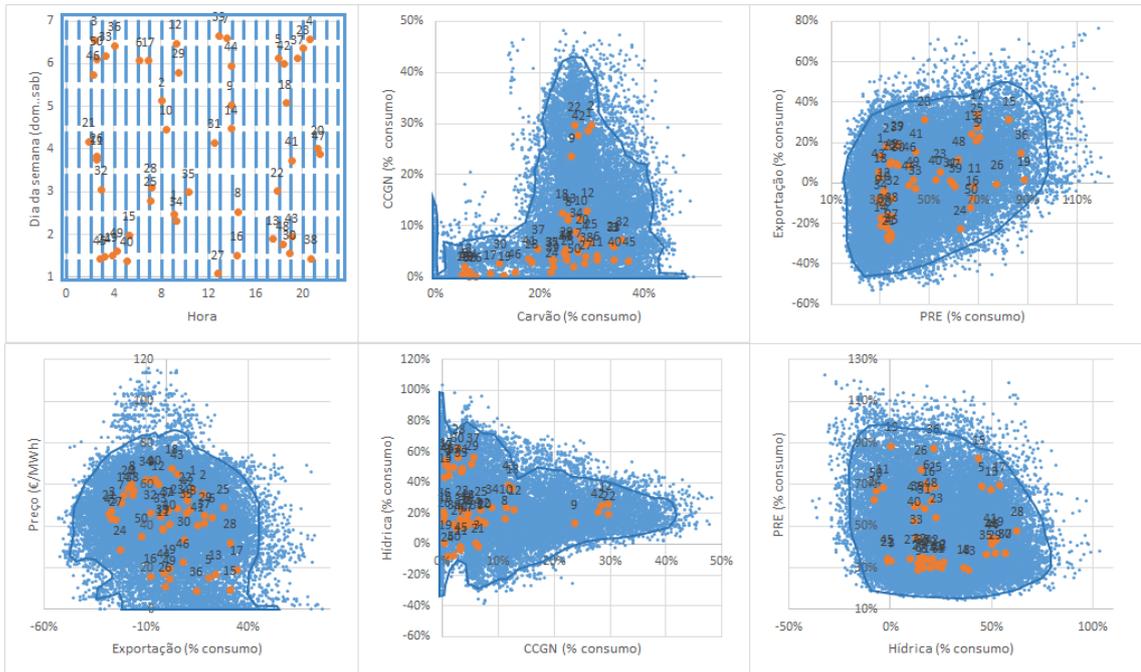


Figura 4.6: Gráfico para 50 clusters, Portugal.

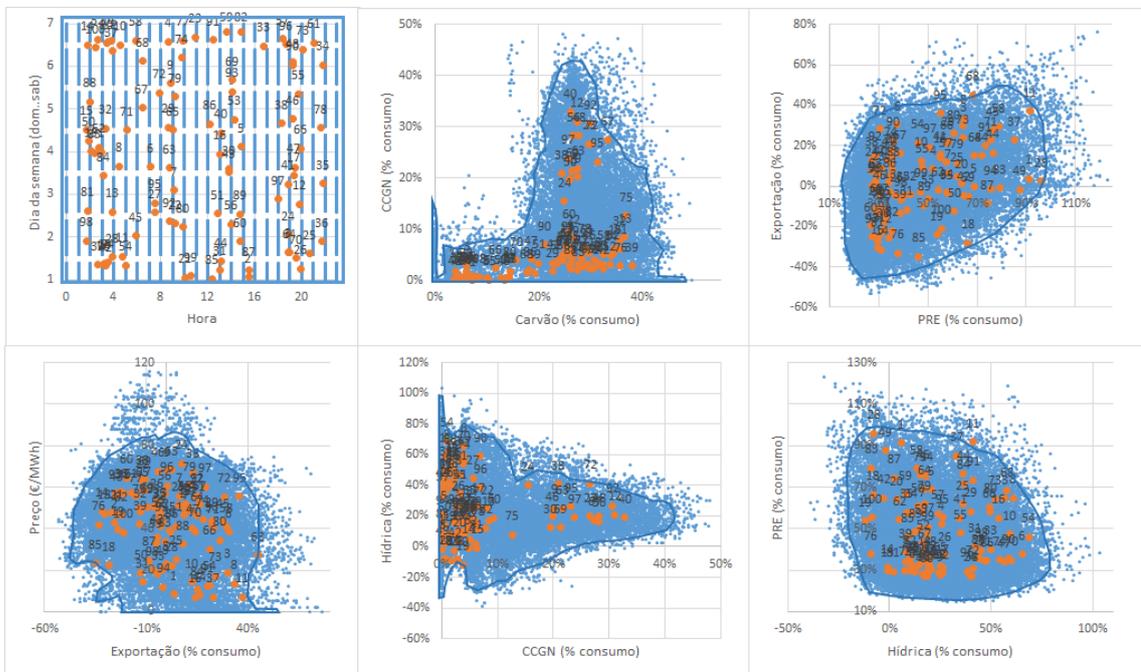


Figura 4.7: Gráfico para 100 clusters, Portugal.



## Capítulo 5

# Análise de Resultados

Neste capítulo é feita a análise dos resultados obtidos no estudo para 50 clusters em Portugal, Espanha e Península Ibérica. Em cada caso é feita uma análise global dos dados tratados e analisados clusters específicos. A apresentação da análise a 50 clusters seria demasiado exaustiva e portanto foram escolhido alguns casos mais representativos. Muitos clusters apresentam valores semelhantes a estes com pequenas variações. As variáveis de produção apresentam valores relativos ao consumo e o preço valores em €/MWh.

### 5.1 Portugal

Nas tabelas 5.1 e 5.2 é possível ver um resumo do valores das variáveis utilizadas para Portugal. Estes valores servem de referência para a análise gráfica dos clusters.

Tabela 5.1: Valores mínimo, máximo e médio dos valores totais das variáveis em Portugal.

	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
máximo	50%	48%	103%	123%	53%	116
média	25%	7%	23%	45%	-1%	45
mínimo	0%	0%	-39%	15%	-76%	0

Na figura 4.6, apresentada no capítulo 4, é possível observar os 50 clusters no caso de Portugal. Em primeiro lugar, é possível tirar algumas conclusões das áreas das relações entre as variáveis. Pode-se observar que o peso da produção com CCGN apenas é elevado para valores de produção com carvão também elevados entre 20 e 40%. A produção com CCGN existe praticamente apenas para valores positivos de produção hídrica. Na relação entre exportação e preço, é possível verificar que não há preços muito baixos quando a importação atinge valores elevados. Relativamente à PRE, os seus valores mais elevado correspondem também aos mais elevados de exportação.

Tabela 5.2: Amplitude dos limites representativos da variação dos dados na análise gráfica para Portugal.

Amp.	Carvão CCGN		PRE EXP		EXP Preço		CCGN Hídrica		Hídrica PRE	
min	0%	0%	20%	-45%	-50%	0€/MWh	0%	-30%	-20%	20%
max	45%	43%	100%	50%	50%	95€/MWh	42%	80%	75%	100%

Observando os centros dos clusters na figura 4.6 é possível verificar algumas tendências. A relação entre a PRE e a exportação divide-se essencialmente em três grupos de clusters com a maioria dos centros a estarem nos valores mais baixos de PRE. Os restantes estão nos valores intermédios e apenas alguns nos valores mais elevados. Entre as variáveis hídrica e PRE também é possível encontrar três casos principais em que a maioria dos centros dos clusters apresentam valores intermédios de hídrica. Relativamente ao carvão com CCGN, apenas um grupo pequeno de clusters representa o CCGN muito alto que corresponde também a valores de carvão elevados. Os restantes são para valores principalmente baixos de CCGN não havendo valores intermédios.

Na tabela da figura 5.1 são apresentados 10 padrões de produção identificados na análise feita aos 50 clusters relativos a Portugal. De forma a facilitar a análise comparativa entre padrões, a tabela apresenta uma gradação de cor por variável em que o verde representa valores elevados e o vermelho os valores mais reduzidos. A tabela está orientada pela PRE, ou seja, o padrão 1 representa o valor mais elevado e o padrão 10 representa o valor mais reduzido. Cada padrão é descrito nos subcapítulos seguintes.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço	Consumo
	% do consumo					€/MWh	
1	13%	0%	0%	89%	1%	20	Reduzido
2	5%	0%	44%	83%	31%	9	Reduzido
3	31%	4%	18%	70%	23%	44	Reduzido
4	6%	1%	45%	69%	21%	15	Elevado
5	22%	1%	-8%	63%	-23%	29	Reduzido
6	18%	4%	49%	45%	15%	40	Elevado
7	20%	6%	57%	37%	19%	42	Elevado
8	29%	6%	16%	33%	-16%	57	Elevado
9	28%	11%	24%	32%	-6%	63	Intermédio
10	26%	24%	14%	29%	-7%	62	Elevado

Figura 5.1: Exemplos de padrões de produção em Portugal.

### 5.1.1 Padrão de produção 1

Este padrão de produção é dado pelo cluster 19. Está localizado no período de domingo e segunda-feira em horas de vazio. Isto significa que o consumo é bastante reduzido.

O valor de carvão é baixo, e o de CCGN nulo, traduzindo-se num peso global muito baixo de produção térmica. Em sentido inverso, a PRE tem valores muito elevados garantindo quase a totalidade do consumo, 89%. A hídrica apresenta valores nulos ou ligeiramente positivos quando a PRE é ligeiramente mais baixa ou valores de bombagem quando a PRE atinge os seus valores mais elevados no cluster. Acontece exportação para os valores mais elevados de PRE e um pouco de importação quando são mais baixos. Todo este comportamento traduz-se num preço reduzido.

Tabela 5.3: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
1	13%	0%	0%	89%	1%	20

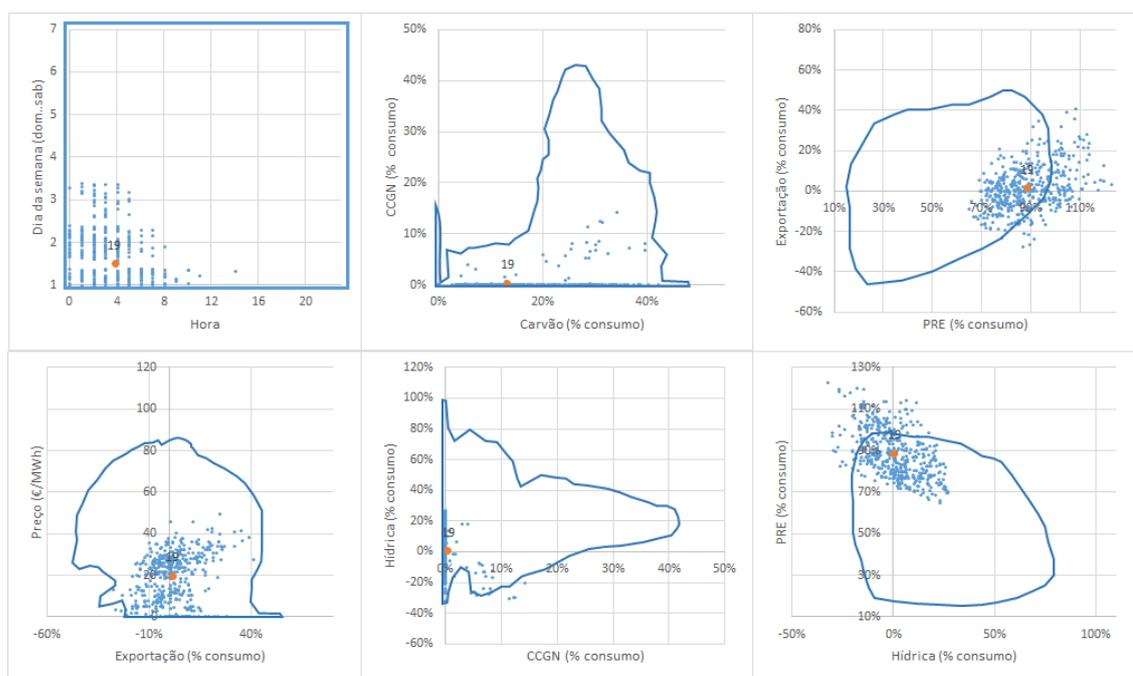


Figura 5.2: Cluster 19 da análise para 50 clusters em Portugal.

### 5.1.2 Padrão de produção 2

Tabela 5.4: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
2	5%	0%	44%	83%	31%	9

O cluster 15 é um dos clusters com valores mais elevados de PRE e preço mais reduzido e foi escolhido para representar o padrão 2. Está localizado num período principalmente de vazio no início da semana abrangendo os dias de domingo a terça-feira. No entanto, apresenta uma grande dispersão nos dados com amplitude entre as 0 e 8 e domingo e quarta-feira. Assim abrange períodos em que o consumo é baixo.

Os valores de PRE e hídrica são muito elevados ao contrário do carvão que apresenta valores muito reduzidos e do CCGN com valores nulos. Existe elevada exportação e o preço é bastante reduzido. Este cluster poderá englobar os valores do mês de fevereiro uma vez que coincide com a análise feita no capítulo 3.

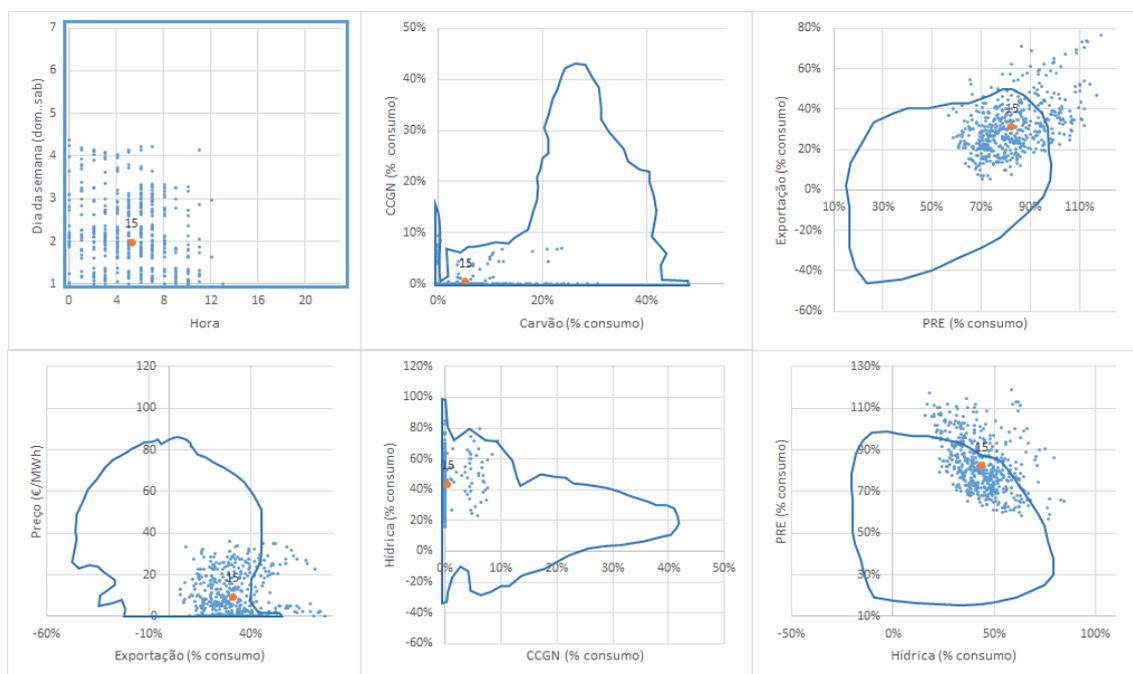


Figura 5.3: Cluster 15 da análise para 50 clusters em Portugal.

### 5.1.3 Padrão de produção 3

O terceiro padrão apresentado tem o cluster 6 como exemplo. Como nos padrões anteriores, este cluster destaca-se por valores muito elevados de PRE. O período representa horas de vazio e de cheia principalmente entre as 5 e as 8 horas. Os dias localizam-se no final da semana, entre quinta-feira e sábado. Assim, o consumo neste período terá um valor baixo.

Neste caso, os valores do peso do carvão no consumo são elevados assim como os de PRE que juntos atingem os 100% do consumo. Havendo também produção hídrica considerável e alguma de CCGN, o valor de exportação é bastante elevado. O reflexo destes comportamento no preço é um valor dentro do valor médio.

Tabela 5.5: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
3	31%	4%	18%	70%	23%	44

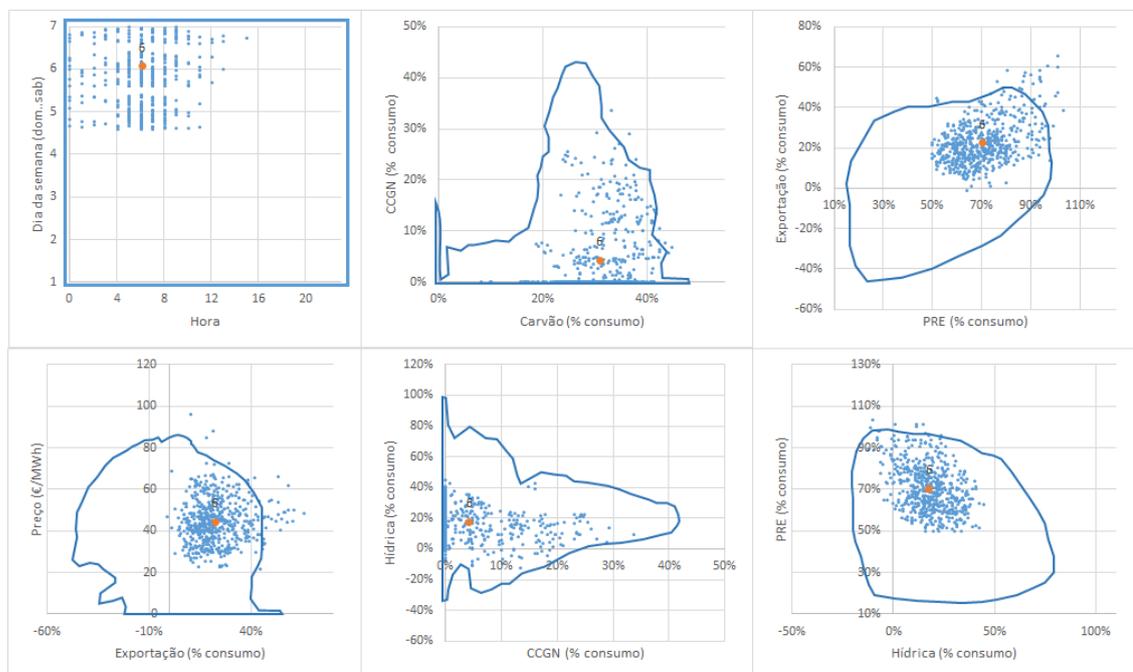


Figura 5.4: Cluster 6 da análise para 50 clusters em Portugal.

#### 5.1.4 Padrão de produção 4

Tabela 5.6: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
4	6%	1%	45%	69%	21%	15

O padrão 4 é representado pelo cluster 5 que se caracteriza por um valor alto de PRE a uma hora de ponta. O período abrangido por este cluster varia entre quinta-feira e sábado e as 12 e 24 horas o que o torna um cluster bastante disperso. Assim, para este período, deverá haver um consumo elevado.

Os valores de carvão e CCGN são muito reduzidos ao contrário da PRE e da hídrica que são muito elevados. Em conjunto, estas duas últimas variáveis ultrapassam a totalidade do consumo. Assim, existe um valor elevado de exportação e um preço muito reduzido.

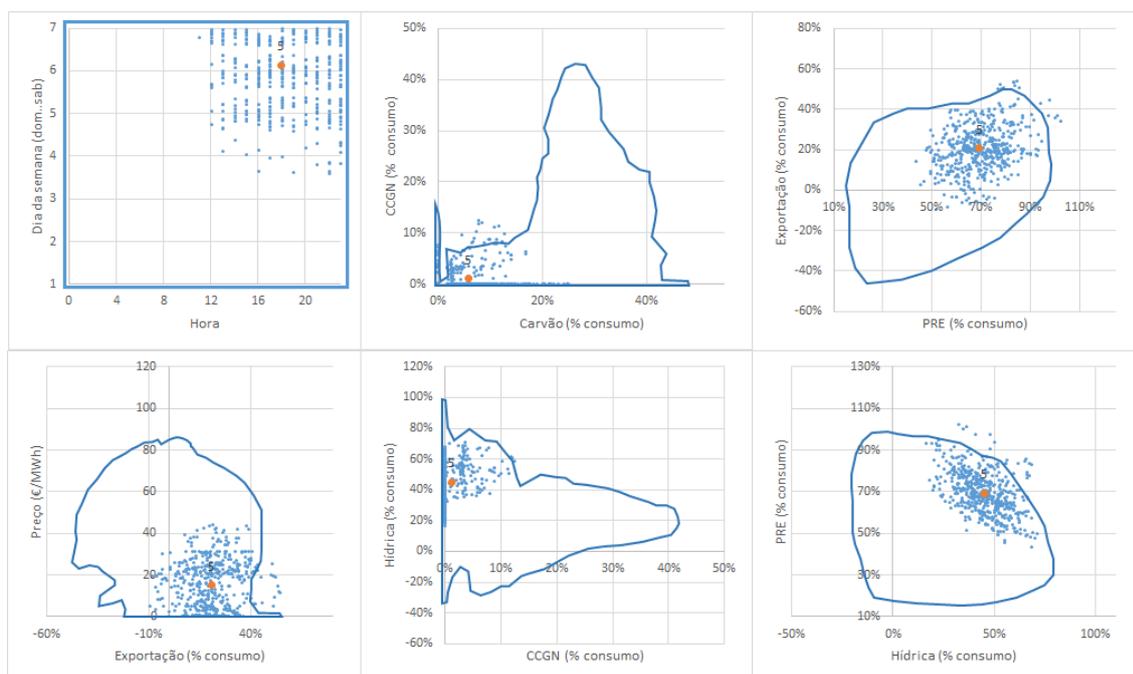


Figura 5.5: Cluster 5 da análise para 50 clusters em Portugal.

### 5.1.5 Padrão de produção 5

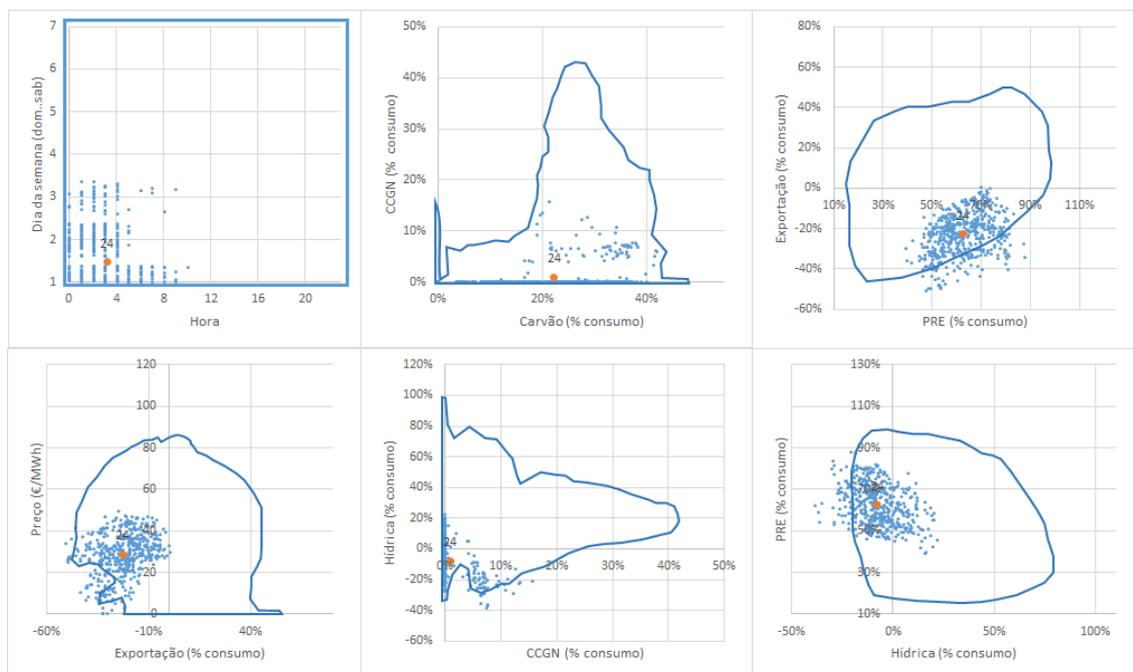


Figura 5.6: Cluster 24 da análise para 50 clusters em Portugal.

Tabela 5.7: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
5	22%	1%	-8%	63%	-23%	29

O cluster 24 é o único que apresenta valores elevados de importação e PRE ao mesmo tempo. Está localizado em horas de vazio, principalmente ao domingo, e entre as 0 e 4 horas de segunda e terça-feira. Ou seja, períodos com o consumo muito reduzido.

A PRE apresenta um peso de aproximadamente 60% do consumo que já é um valor elevado. A produção com carvão abrange diversos valores mas o centro do cluster está nos 20% e produção com CCGN é quase nula. A importação tem um peso elevado e existem valores de bombagem elevados. O preço apresenta valores baixos dentro da média.

### 5.1.6 Padrão de produção 6

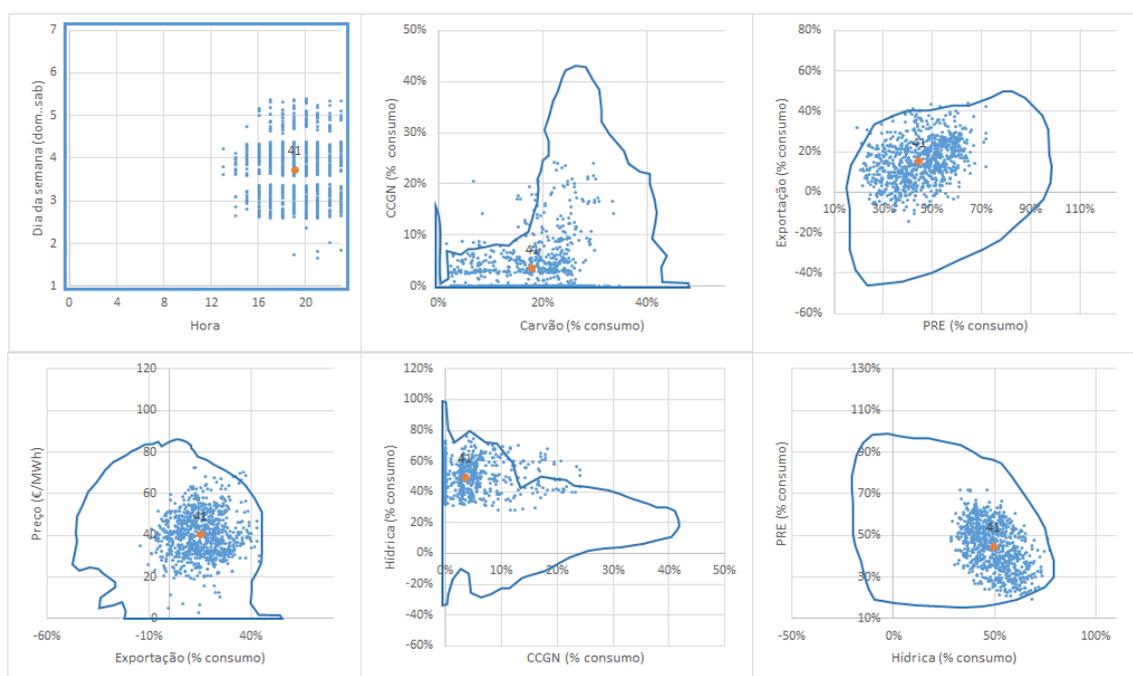


Figura 5.7: Cluster 41 da análise para 50 clusters em Portugal.

Tabela 5.8: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
6	18%	4%	49%	45%	15%	40

O cluster 41 é o exemplo para o padrão 6. O período é referente a dias de semana entre terça-feira e quinta-feira em horas de ponta. Desta forma refere-se a um período de consumos elevados.

Os valores de hídrica são elevados e os de PRE estão dentro dos valores médios. Os valores de carvão estão também dentro dos valores intermédios e os de CCGN são baixos. Os valores de exportação são então elevados e o preço está entre os valores médios.

### 5.1.7 Padrão de produção 7

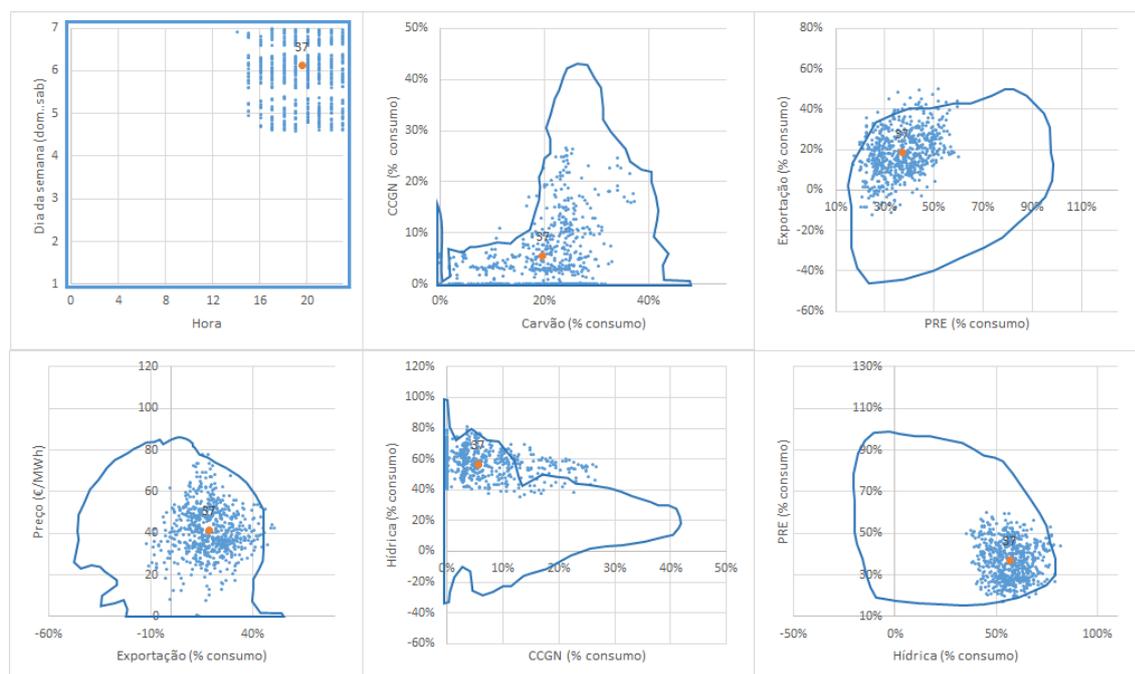


Figura 5.8: Cluster 37 da análise para 50 clusters em Portugal.

Tabela 5.9: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
7	20%	6%	57%	37%	19%	42

O cluster 37, figura 5.8, é um dos dois que apresenta valores mais elevados de hídrica em hora de ponta. O cluster representa um período de ponta no final da semana nos dias de quinta-feira a sábado. Desta forma, é um período de consumos elevados, apesar de sábado ter consumos um pouco mais reduzidos que os dias de semana.

A PRE tem um peso baixo no consumo relativamente aos seus valores globais. Já a produção com carvão tem um peso dentro dos seus valores médios e a produção com CCGN contribui com valores próximos de 5% do consumo que não são muito elevados. Isto resulta em saldo exportador e o preço tem um valor próximo da média dos valores globais.

Na figura B.2 do anexo B, é possível observar o cluster 30 que também apresenta valores elevados de hídrica em hora de ponta. No entanto este cluster está num período de ponta ao domingo e segunda-feira que que representará menores consumos. Assim, existe menores valores de exportação, produção com carvão e em CCGN. O preço é assim mais reduzido.

### 5.1.8 Padrão de produção 8

Tabela 5.10: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
8	29%	6%	16%	33%	-16%	57

Na figura 5.9 são analisados 3 clusters em conjunto. Os três apresentam valores idênticos com a única diferença, o dia da semana. No entanto, todos representam horas de ponta. Assim, com a variação entre os pontos do cluster, podem representar o mesmo padrão. O consumo é elevado.

Baixa influência da PRE no peso do consumo comparando com os valores globais. Produção com carvão com elevada influência e contribuição considerável da produção em CCGN. Contribuição positiva da hídrica com valores baixos e saldo importador com uma influência relevante. Esta combinação de fatores traduz-se num preço elevado. O cluster 38, como representa valores de domingo, apresenta valores mais reduzidos de hídrica e CCGN uma vez que o consumo também é mais reduzido.

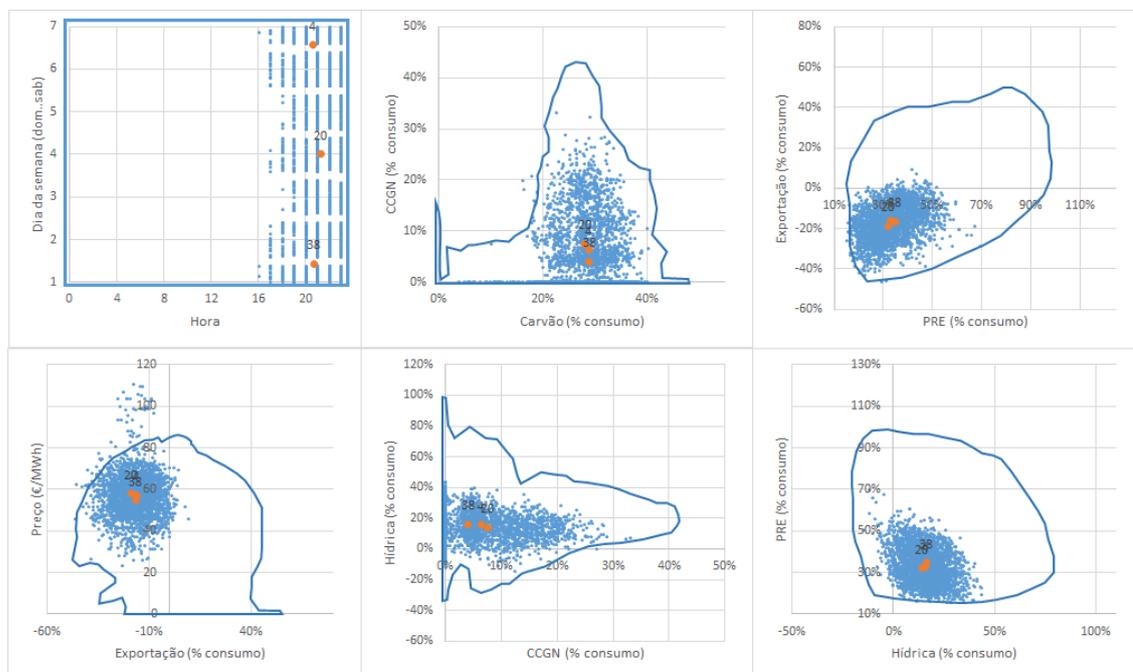


Figura 5.9: Clusters 4, 20 e 38 da análise para 50 clusters em Portugal.

Tabela 5.11: Dados dos centros dos clusters 4, 20 e 38 para a análise de 50 clusters em Portugal.

Cluster	Hora	Dia Sem.	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço em €/MWh
4	20,7	6,6	29%	6%	16%	33%	-16%	57
20	21,3	4,0	28%	8%	14%	32%	-19%	58
38	20,8	1,4	29%	4%	16%	35%	-16%	55

### 5.1.9 Padrão de produção 9

Tabela 5.12: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 9 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
9	28%	11%	24%	32%	-6%	63

A figura 5.10 também representa 3 clusters bastante idênticos. Neste caso também é o dia da semana que varia sendo e apenas domingo não é considerado apresentando apenas alguns pontos. É um período de horas de cheia e ponta o que resultará em consumos intermédios a elevados.

A PRE tem um peso baixo enquanto que a produção térmica é elevada no conjunto carvão e CCGN. A produção hídrica tem um peso intermédio e os intercâmbios variam entre importação e exportação. O preço é bastante elevado resultante de ser hora de ponta e elevada produção térmica.

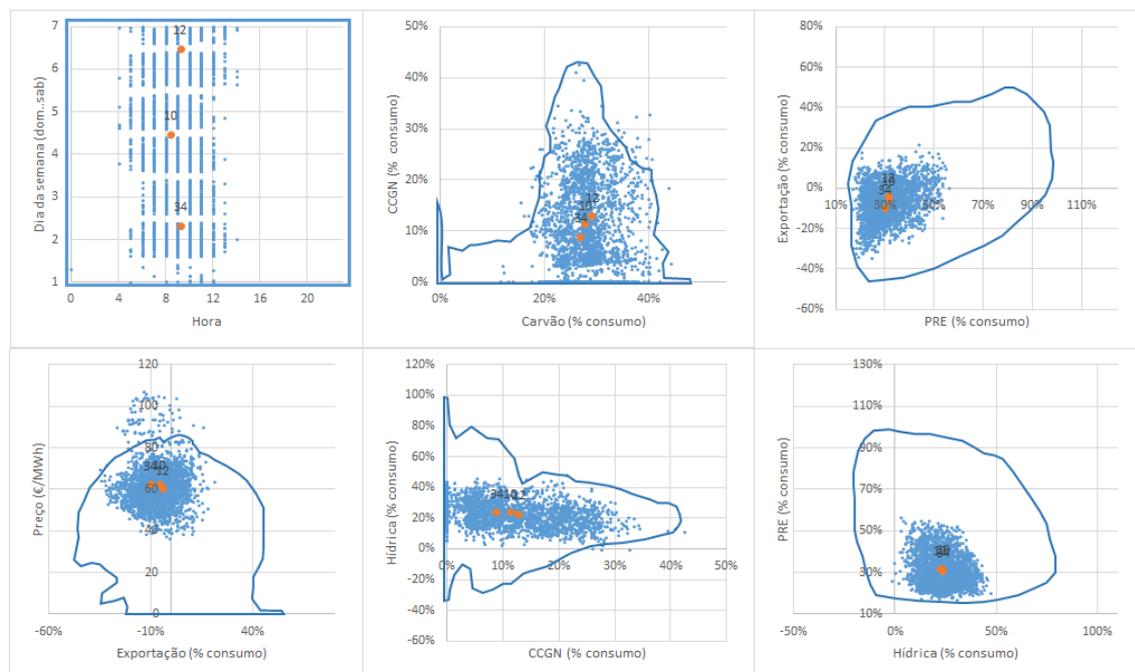


Figura 5.10: Clusters 10, 12 e 34 da análise para 50 clusters em Portugal.

Tabela 5.13: Dados dos centros dos clusters 10, 12 e 34 para a análise de 50 clusters em Portugal.

Cluster	Hora	Dia Sem.	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço em €/MWh
10	8,4	4,5	28%	11%	24%	32%	-6%	63
12	9,3	6,5	29%	13%	22%	32%	-4%	60
34	9,3	2,3	27%	9%	24%	30%	-10%	62

### 5.1.10 Padrão de produção 10

O cluster 9 na figura 5.11 tem valores muito elevados de CCGN. O seu período refere-se ao final dos dias de semana entre quarta e sexta-feira entre as 12 e 18 horas. Desta forma corresponde a um consumo elevado.

O peso da PRE é muito baixo e o peso da produção térmica é elevado tanto na produção com carvão bem como com CCGN que apresenta valores bastante elevados. O peso da produção hídrica é um pouco baixo e existe saldo importador. O preço é bastante elevado.

Tabela 5.14: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 10 em Portugal.

Padrão	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
10	26%	24%	14%	29%	-7%	62

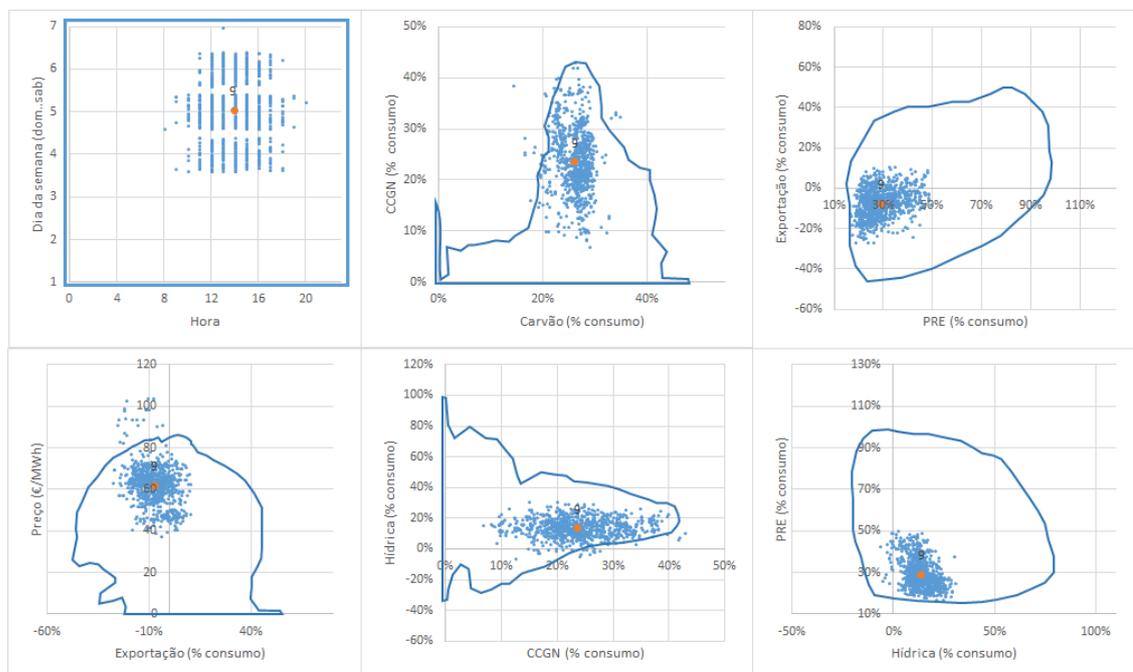


Figura 5.11: Cluster 9 da análise para 50 clusters em Portugal.

## 5.2 Espanha

Nas tabelas 5.15 e 5.16 é possível ver um resumo do valores das variáveis utilizadas para Espanha. Como no caso de Portugal, Estes valores servem de referência para a análise gráfica dos clusters.

Tabela 5.15: Valores mínimo, máximo e médio dos valores totais das variáveis em Espanha.

	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
média	23%	17%	9%	11%	41%	-1%	45
máximo	39%	43%	32%	40%	85%	20%	116
mínimo	10%	1%	1%	-17%	13%	-22%	0

Tabela 5.16: Amplitude dos valores das relações entre as variáveis para o caso de Espanha.

Amp	Carvão CCGN	Nuclear Carvão	IMP Preço	CCGN Hídrica	Hídrica PRE
min	2% 2%	2% 2%	-15% 0€/MWh	2% -12%	-7% 10%
max	40% 28%	37% 37%	15% 95€/MWh	28% 34%	35% 75%

A figura 5.12 corresponde ao estudo de 50 cluster no caso espanhol. Mais uma vez é possível tirar algumas conclusões das áreas das relações entre as variáveis. É possível observar que a relação da produção com carvão e CCGN tem uma tendência algo linear, havendo maior valores de CCGN quando o carvão é alto e o inverso para valores reduzidos. Os valores de CCGN apenas são muito altos para valores elevados do carvão. A relação da nuclear com carvão é bastante flexível apresentando valores que representam pesos iguais ou opostos. Comparando com Portugal, a variação da importação tem menor amplitude mas verifica-se que os preços muito baixos acontecem quando o saldo é exportador. O pico dos preços acontece quando os intercâmbios são praticamente nulos. O maior aglomerado de valores de CCGN acontece quando a hídrica é positiva, podendo ainda assim atingir valores de 15% quando existe bombagem. Por fim, a PRE e a hídrica têm uma relação semelhante ao que acontece em Portugal. Quando a PRE atinge os seus valores mais elevados existe bombagem e quando tem valores mais reduzidos e hídrica apresenta os seus valores mais elevados. Ainda assim, os valores intermédios não são tão lineares.

Observando os centros dos clusters é possível encontrar algumas tendências. O Carvão e o CCGN apresentam centros com uma variação aproximadamente linear tirando dois casos que representam os picos de CCGN relativamente ao consumo. Os valores de nuclear em relação ao carvão nos centros dos clusters encontram-se principalmente nos 20% e 28% ainda que a maioria se encontre no primeiro caso. O carvão apresenta grande variação nos valores. Na relação da importação com o preço, observa-se que os centros dos clusters estão muito próximos de 0 na importação e o preço condensa-se mais nos valores entre os 50 e 70€/MWh. Para hídrica e CCGN, os centros dos clusters encontram-se todos na zona de valores positivos de hídrica e quase todos entre 5 e 12% de CCGN. Por fim, os centros dos clusters na relação entre hídrica e PRE encontram-se bastante dispersos.

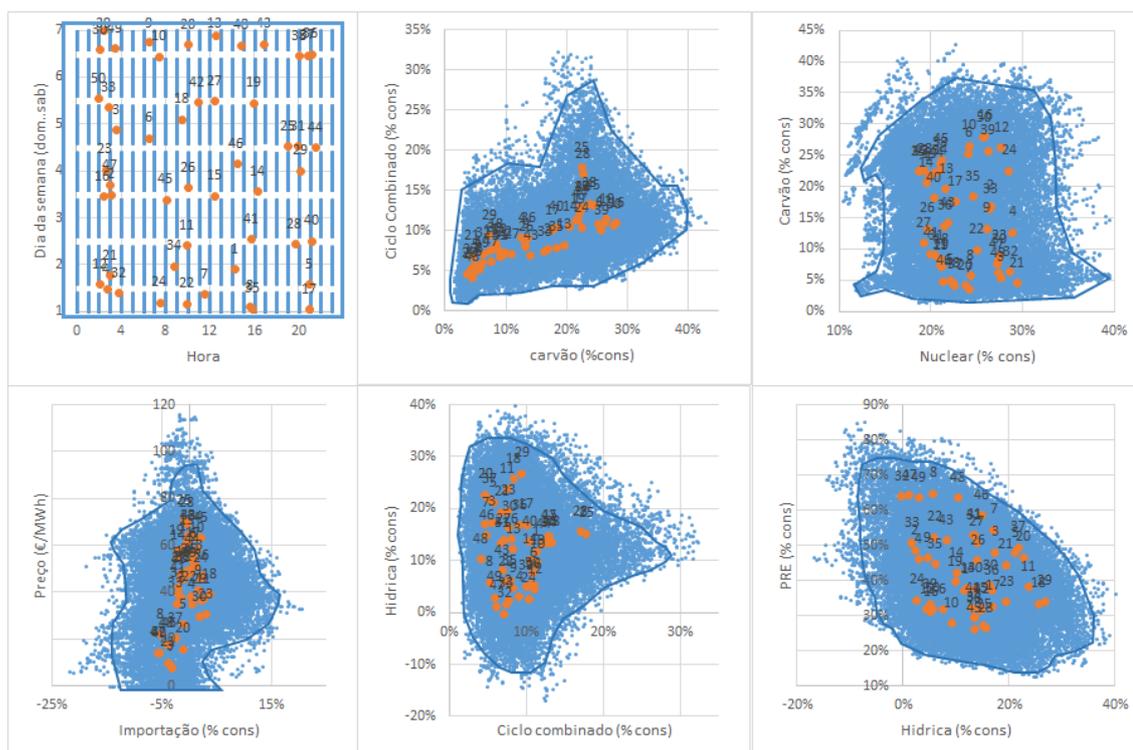


Figura 5.12: Todos os clusters do caso espanhol com 50 clusters.

Na tabela da figura 5.13 são apresentados 8 padrões de produção identificados na análise feita aos 50 clusters. Como no caso anterior, a tabela apresenta uma gradação de cor por variável em que o verde representa valores elevados e o vermelho os valores mais reduzidos. A tabela está orientada pela PRE, ou seja, o padrão 1 representa o valor mais elevado e o padrão 8 representa o valor mais reduzido. Cada padrão é descrito nos subcapítulos seguintes.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço	Consumo
	% do consumo						€/MWh	
1	29%	6%	7%	0%	64%	-5%	14	Reduzido
2	21%	9%	7%	13%	53%	-2%	39	Elevado
3	23%	4%	5%	22%	49%	-2%	20	Elevado
4	27%	17%	8%	2%	49%	-2%	37	Reduzido
5	26%	13%	8%	5%	46%	2%	41	Reduzido
6	21%	8%	8%	26%	33%	4%	39	Intermédio
7	28%	26%	11%	4%	32%	-1%	47	Reduzido
8	19%	22%	18%	15%	27%	-1%	71	Elevado

Figura 5.13: Exemplos de padrões de produção em Espanha.

### 5.2.1 Padrão de produção 1

Tabela 5.17: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
1	29%	6%	7%	0%	64%	-5%	14

A figura 5.14, mostra o cluster 47 que apresenta o valor mais elevado de exportação de todos os 50 clusters. Este cluster corresponde a um período de vazio em dias de semana. Mais especificamente terça e quarta-feira das 0 às 6 horas. Assim, pode-se concluir que representa um período de consumos muito baixos.

O valores de carvão e CCGN são muito reduzidos enquanto que os da nuclear são altos apesar de próximos do seu valor intermédio. A PRE é muito alta e existem valores baixos de hídrica verificando-se pouca produção ou bombagem em partes diferentes do cluster. Este padrão resulta em valores elevados de exportação e um preço muito baixo, entre 0 e 30€/MWh.

Para além do cluster 47, os clusters 32 e 49 apresentam valores idênticos mas em períodos da semana diferentes como podemos ver na figura B.6 do anexo B. Apesar de terem centros muito próximos consegue-se observar algumas variações nos valores do carvão e na nuclear. Os períodos representam consumos mais reduzidos por abrangerem sábado e domingo e daí os valores de nuclear serem mais elevados e de carvão mais reduzidos.

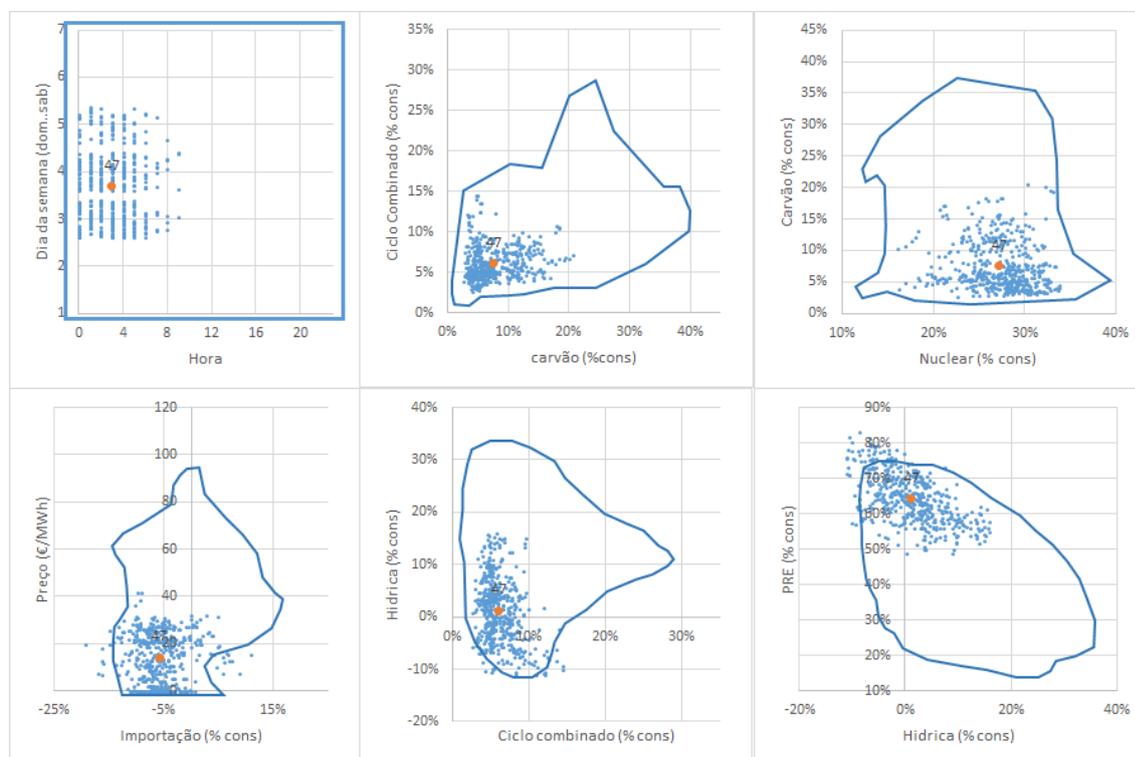


Figura 5.14: Cluster 47 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.2.2 Padrão de produção 2

Tabela 5.18: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
2	21%	9%	7%	13%	53%	-2%	39

Este padrão é aqui representado pelos clusters 31 e 41. O período em que estes clusters estão situados é diferente, mas ambos representam dias de semana. O cluster 41 representa segunda e terça-feira entre as 12 e 19 horas e o cluster 31 representa os dias de quarta e quinta-feira entre as 16 e 24 horas. São ambos períodos que abrangem horas de ponta e horas de cheia, permitindo concluir que o consumo será elevado.

Relativamente às variáveis de produção em relação ao consumo, os valores de carvão, CCGN e nuclear são baixos enquanto que os valores de PRE são elevados. A hídrica apresenta valores médios comparando com a sua amplitude de valores.

Este padrão apresenta principalmente valores de exportação ainda que sejam baixos e haja variação entre importação e exportação. Os preços resultantes deste padrão são preços intermédios.



Figura 5.15: Clusters 31 e 41 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.2.3 Padrão de produção 3

Tabela 5.19: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
3	23%	4%	5%	22%	49%	-2%	20

O padrão 3 tem como referência o cluster 37. É um cluster que representa um período do final da semana abrangendo os dias de sexta-feira e sábado principalmente. As horas em que ocorre são entre as 17 e as 24. Apesar de coincidir com horas de ponta, o consumo deverá ser alto mas não muito muito elevado uma vez que existe um consumo mais reduzido ao sábado.

As variáveis de produção comportam-se da seguinte maneira em relação ao consumo: os valores de carvão e CCGN são muito reduzidos, a nuclear apresenta valores intermédios assim como a PRE e a hídrica tem valores elevados. Ou seja, produção térmica reduzida, PRE intermédia e hídrica elevada.

Existe principalmente exportação apesar da variação de valores entre importação e exportação. O preço é reduzido apesar de não estar muito distantes dos valores intermédios.

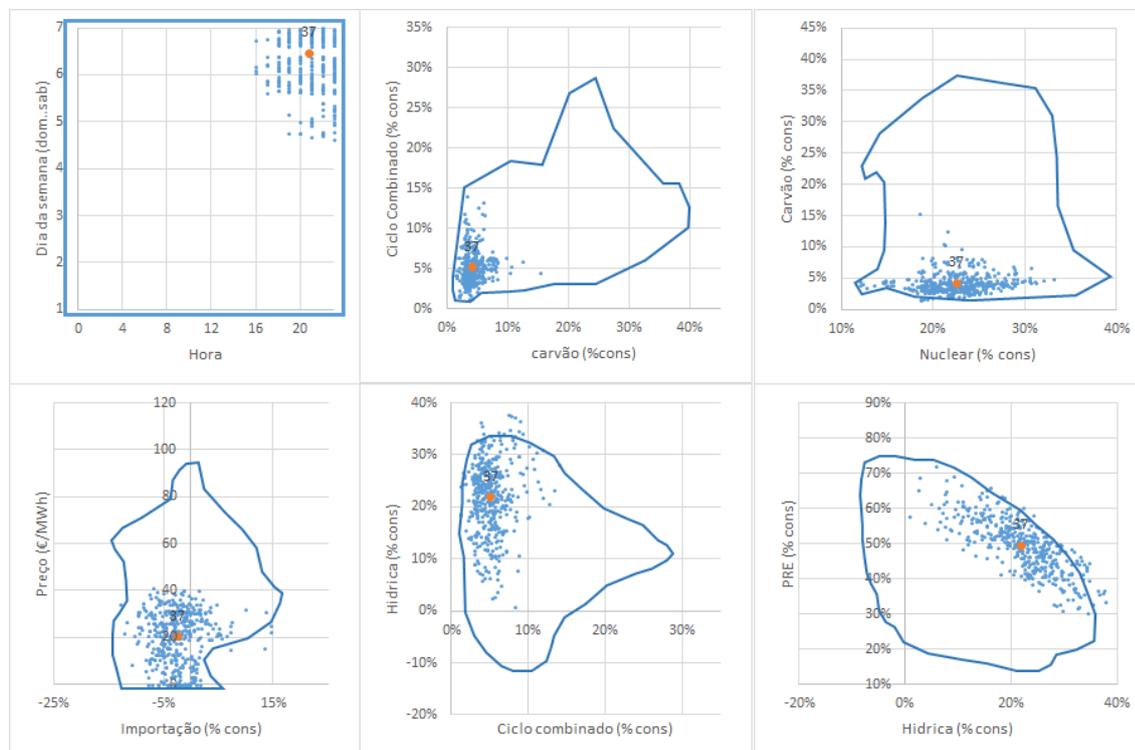


Figura 5.16: Cluster 37 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.2.4 Padrão de produção 4

Tabela 5.20: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
4	27%	17%	8%	2%	49%	-2%	37

O padrão 4 está aqui representado por dois clusters, o 2 e o 33. Estes clusters representam um período de dias de semana entre terça-feira e sexta-feira em horas de vazio, mais precisamente entre as 0 e 7 horas. Este período corresponde a consumos muito baixos.

Os valores de produção relativos ao consumo apresentam um peso elevado de produção térmica. Os valores de carvão são intermédios, os de CCGN baixos mas perto dos valores intermédios e a nuclear tem um peso elevado. A PRE apresenta valores intermédios e a hídrica valores baixos que variam entre bombagem e produção.

Este padrão apresenta principalmente valores de exportação mas existe uma grande variação de valores entre importação e exportação. Os preços apresentam valores intermédios.



Figura 5.17: Clusters 2 e 33 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.2.5 Padrão de produção 5

Neste padrão, a referência é o cluster 9 que representa um período de final da semana entre sexta-feira e sábado. As horas são entre as 4 e 8 de sexta-feira e um pouco mais abrangente entre as

2 e 10 de sábado. Estes períodos, apesar de incluir algumas horas de cheia, representam períodos de consumos muito baixos.

Os valores de produção relativamente ao consumo neste padrão estão bastante próximos dos valores intermédios nas diferentes variáveis. Os valores de carvão e CCGN não são muito baixos estando próximos dos valores intermédios. Já a nuclear apresenta alguma dispersão com alguma tendência a valores um pouco elevados. A hídrica apresenta valores baixos enquanto que a PRE tem valores intermédios.

Os intercâmbios variam entre importação e exportação e o preço resultante do comportamento deste padrão são valores intermédios.

Tabela 5.21: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
5	26%	13%	8%	5%	46%	2%	41

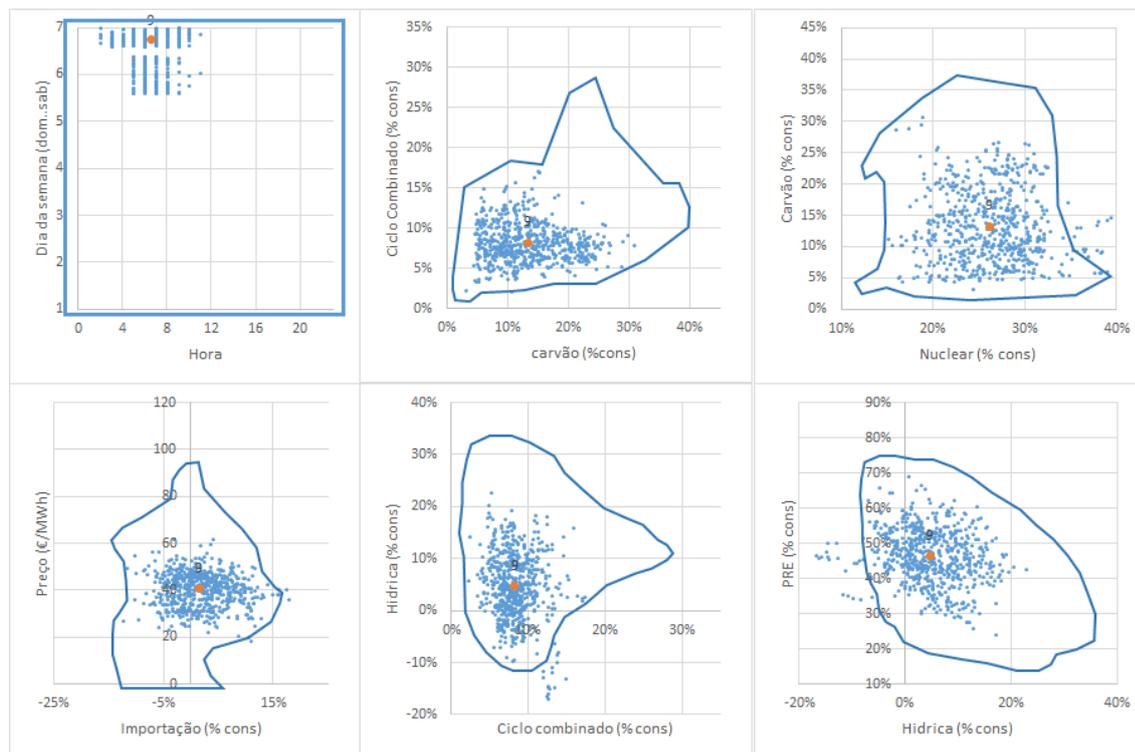


Figura 5.18: Cluster 9 na análise de Espanha com 50 clusters.

## 5.2.6 Padrão de produção 6

O cluster 18, representado na figura 5.19, é o cluster em que o centro tem um valor mais elevado de importação. O período que este engloba situa-se nos dias de semana entre quarta e sexta-feira no período de horas entre o fim do vazio e início do primeiro período de ponta, principalmente entre as 8 e as 12.

O carvão e o CCGN apresentam valores baixos assim como a nuclear. A hídrica apresenta valores muito altos enquanto que a PRE apresenta valores baixos. O preço varia entre os 25 e 50€/MWh, ou seja, dentro dos valores médios. Em geral, corresponde a um período com consumo intermédio e onde a produção térmica e PRE têm pouca representatividade no consumo. A hídrica apresenta valores muito altos assim como a importação.

Este período, como observado no capítulo 3 nos diagramas 3.3 e 3.9, corresponde a importação em Espanha e valores elevado de exportação em Portugal. Isso poderá explicar os valores baixos de carvão neste período em que fica mais barato importar de Portugal.

Tabela 5.22: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
6	21%	8%	8%	26%	33%	4%	39

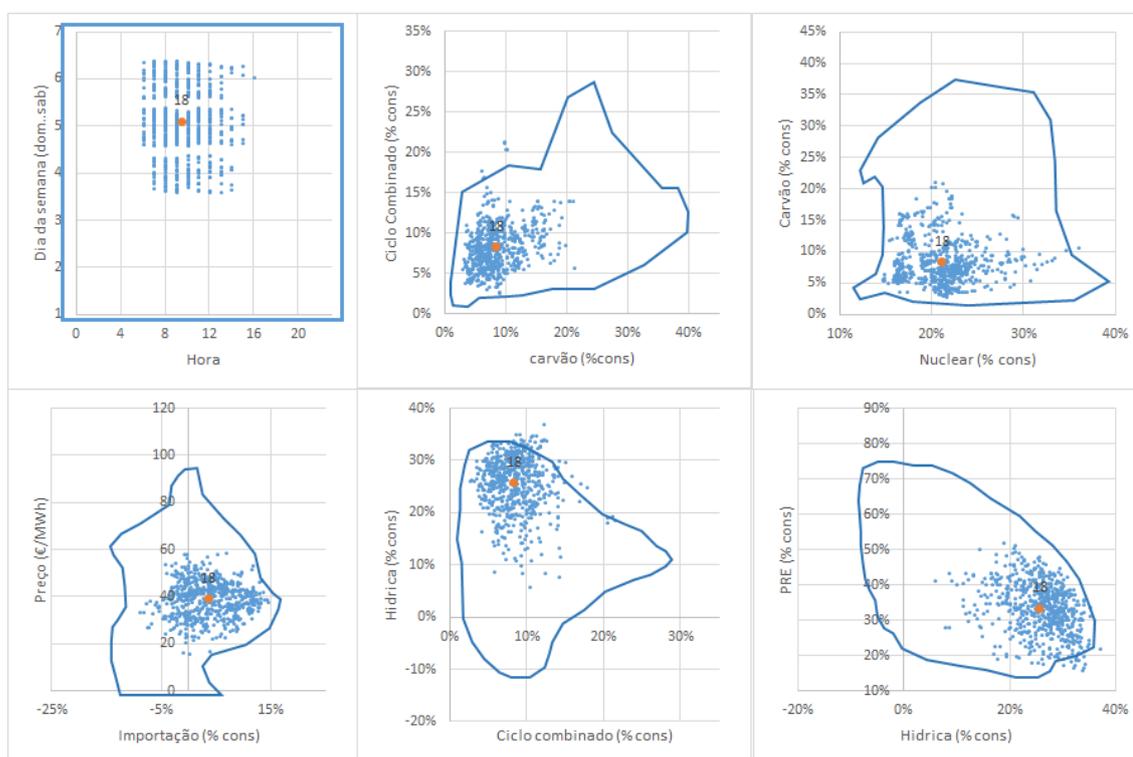


Figura 5.19: Cluster 18 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.2.7 Padrão de produção 7

Tabela 5.23: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
7	28%	26%	11%	4%	32%	-1%	47

O grupo de clusters 12, 16, 39 e 59 pode ser observado na figura 5.20. Os clusters são representativos de horas de vazio sendo que o cluster 12 engloba alguns casos ao domingo e o 39 apenas períodos de sábado. Os outros dois englobam os dias de semana. Desta forma, os valores de consumo são baixos.

O comportamento apresentado são valores muito elevados de nuclear e carvão, valores intermédios de CCGN e valores baixos de PRE e hídrica. Os intercâmbios variam entre importação e exportação. O preço apresenta valores intermédios e altos a rondar os 50€/MWh.

No anexo B, figuras B.4 e B.5 podem ser observados estes clusters mas separados para os dias de semana e fim-de-semana. Fazendo uma análise em separado verifica-se principalmente que nos clusters representativos do fim-de-semana englobam menos pontos com CCGN elevado o que corresponde a um comportamento normal desta variável para consumos muito baixos. As outras relações apresentam valores muito similares nos dois casos.

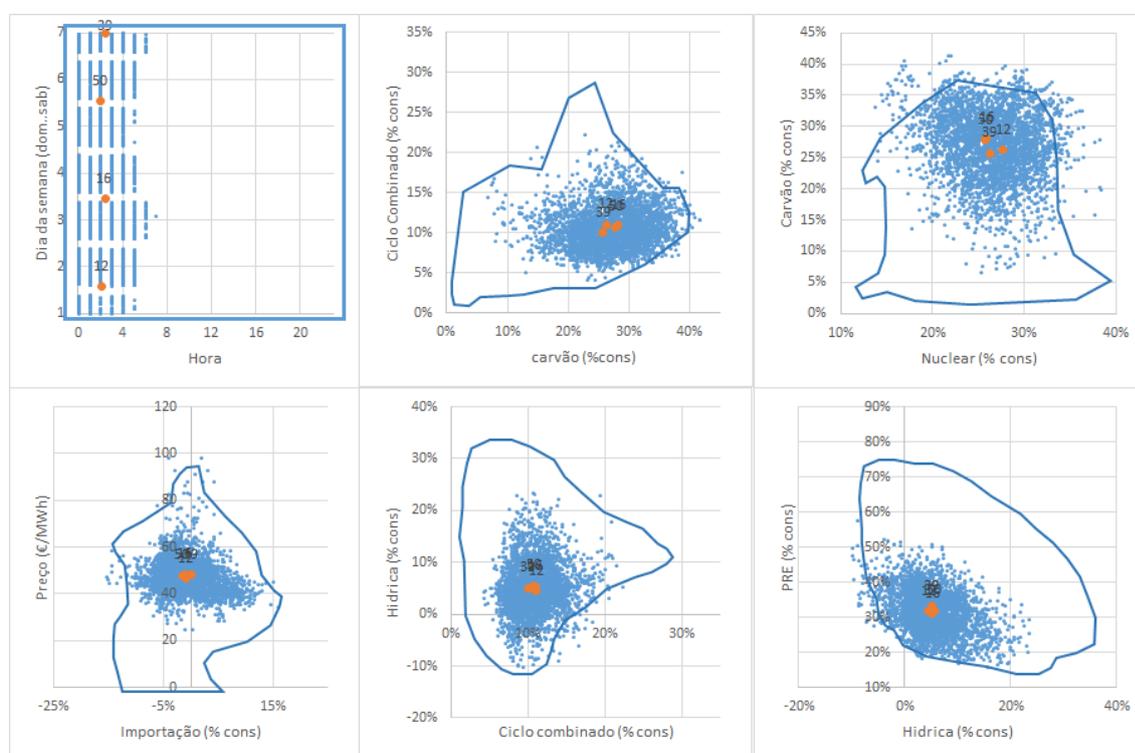


Figura 5.20: Clusters 12, 16, 39 e 50 na análise de Espanha com 50 clusters.

Tabela 5.24: Clusters 12, 16, 39, 50 na análise de Espanha com 50 clusters.

Cluster	Hora	Dia Sem.	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço
12	2,2	1,6	28%	26%	11%	4%	32%	-1%	47€/MWh
16	2,4	3,4	26%	28%	11%	5%	31%	-1%	48€/MWh
39	2,5	7,0	26%	26%	10%	5%	33%	0%	48€/MWh
50	2,0	5,5	26%	28%	11%	6%	32%	-2%	48€/MWh

### 5.2.8 Padrão de produção 8

O cluster 25 engloba dois dias de semana, quarta e quinta-feira, em horas de ponta. Desta forma, o consumo será bastante elevado. O centro deste cluster apresenta o valor mais elevado de CCGN e preço comparativamente com os outros clusters.

O seu centro é um dos mais isolados na relação do carvão com o CCGN que encontramos na figura 5.12. Quer isto dizer que apresenta valores muito elevados de CCGN em relação ao consumo. Os valores de carvão são também elevados e a nuclear apresenta valores baixos. A hídrica apresenta valores intermédios e a PRE valores muito baixos. O reflexo destes comportamentos na importação e preço, são preços muito elevados e valores positivos de importação.

O cluster 28 apresenta também valores idênticos das diferentes variáveis mas desta vez nos dias de semana de segunda e terça-feira. Este cluster pode ser observado na figura B.3 do anexo B. Estes dois clusters representam assim o mesmo padrão que ocorre durante os dias de semana.

Tabela 5.25: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 em Espanha.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	IMP	Preço €/MWh
8	19%	22%	18%	15%	27%	-1%	71

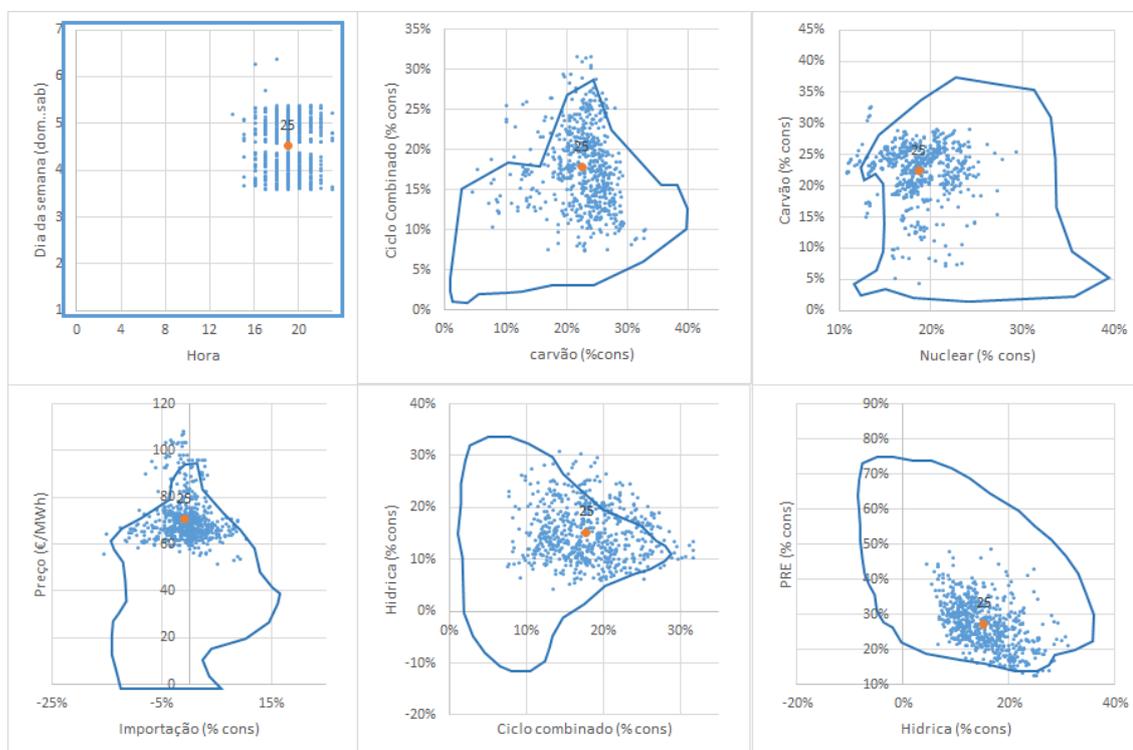


Figura 5.21: Cluster 25 na análise de Espanha com 50 clusters.

### 5.3 Península Ibérica

Nas tabelas 5.26 e 5.27 é possível ver um resumo do valores das variáveis utilizadas para Península Ibérica. Estes valores servem de referência para a análise gráfica dos clusters. Este caso reflete os dois casos anteriores em conjunto.

Tabela 5.26: Valores médios, máximo e mínimos das variáveis na Península Ibérica.

	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/Mwh
média	19%	18%	9%	13%	41%	0%	45
máximo	33%	43%	36%	48%	89%	16%	116
mínimo	9%	2%	1%	-19%	13%	-13%	0

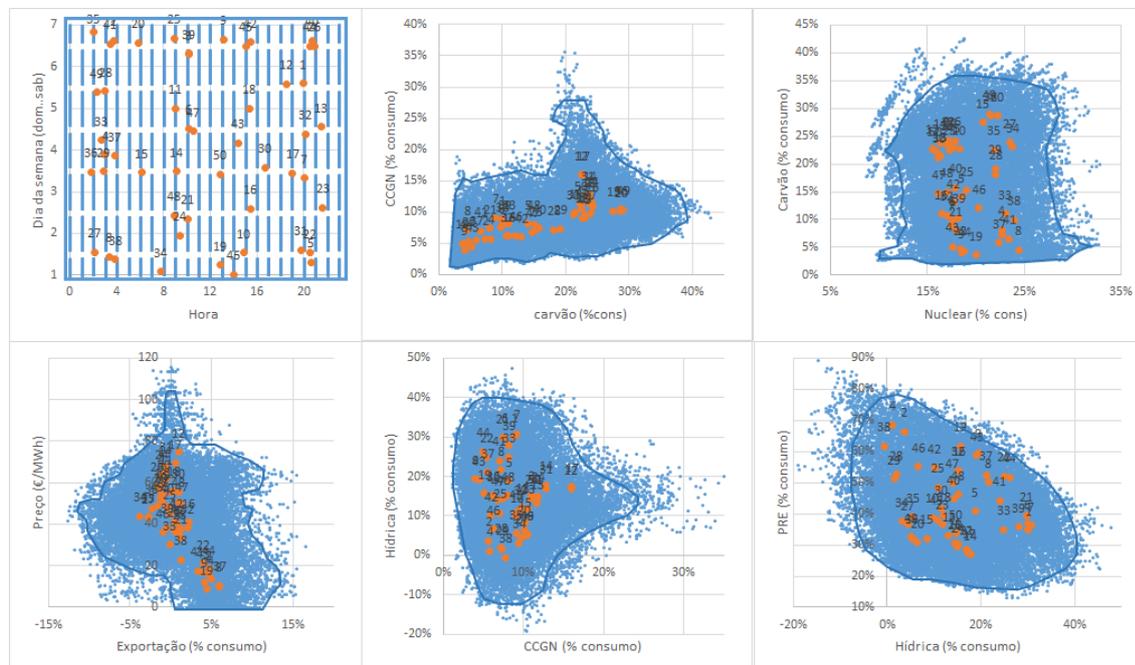


Figura 5.22: Todos os clusters do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

Tabela 5.27: Amplitude dos limites representativos da variação dos dados na análise gráfica para Portugal.

Amp	Carvão	CCGN	Nuclear	Carvão	EXP	Preço	CCGN	Hídrica	Hídrica	PRE
min	2%	2%	10%	2%	-10%	0€/MWh	2%	-12%	-5%	15%
max	39%	28%	30%	35%	13%	100€/MWh	25%	40%	40%	78%

Fazendo uma breve análise comparativa entre os valores das amplitudes dos limites desenhados nos gráficos, facilmente se percebe que este caso tem uma maior influência do caso espanhol. Os valores são muito idênticos a Espanha apesar de ser também notória a influência de Portugal na

amplitude dos valores. A PRE e a hídrica são mais influentes devidos aos seus valores bastante elevados em Portugal. Em relação aos valores de nuclear, são mais reduzidos que em Espanha uma vez que Portugal não apresenta produção deste tipo. Para preços muito baixos, não existe importação. Apesar de já acontecer nos dois casos anteriores, aqui é mais acentuado.

Através de uma breve análise a todos os centros dos clusters na figura 5.22 também é possível verificar algumas tendências. O carvão e o CCGN têm uma relação quase linear em que os valores altos de CCGN só acontecem para valores altos de carvão. Para a relação entre as variáveis nuclear e carvão, existe claramente dois grupos de clusters alinhados nos valores aproximados a 18% e 23%. Observando o preço e exportação verifica-se que para preços médios a elevados os centros posicionam-se perto de 0% variando entre importação e exportação. Para valores de preço baixo, apenas acontece exportação. A produção com CCGN acontece principalmente quando a hídrica é positiva e na relação entre PRE e hídrica os clusters estão algo dispersos com uma maior aglomeração em valores intermédios. A tabela seguinte apresenta os padrões escolhidos para a Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço	Consumo
	% do consumo						€/MWh	
1	20%	4%	5%	16%	62%	4%	9	Reduzido
2	22%	18%	7%	2%	53%	1%	35	Reduzido
3	18%	5%	5%	25%	52%	4%	21	Elevado
4	18%	23%	9%	10%	39%	-1%	53	Elevado
5	18%	10%	8%	30%	37%	1%	38	Elevado
6	22%	29%	10%	5%	32%	-2%	48	Reduzido
7	17%	24%	11%	15%	30%	-1%	63	Elevado
8	16%	22%	16%	17%	29%	1%	75	Elevado

Figura 5.23: Exemplos de padrões de produção na Península Ibérica.

### 5.3.1 Padrão de produção tipo 1

Este padrão é aqui representado pelo cluster 19. O período correspondente é ao domingo e segunda-feira entre as 8 e as 16 horas. Uma vez que estes valores englobam o domingo, o valor do consumo será bastante baixo.

Relativamente ao consumo, o carvão e o CCGN apresentam um peso muito reduzido de produção. Em sentido inverso está a PRE que apresenta valores muito elevados. A hídrica apresenta valores intermédios assim como a nuclear.

A exportação apresenta valores intermédios e um preço é muito reduzido com valores próximos de 0€/MWh. Em resumo, temos um grande peso de PRE e pouca térmica resultando em exportação e preços muito baixos.

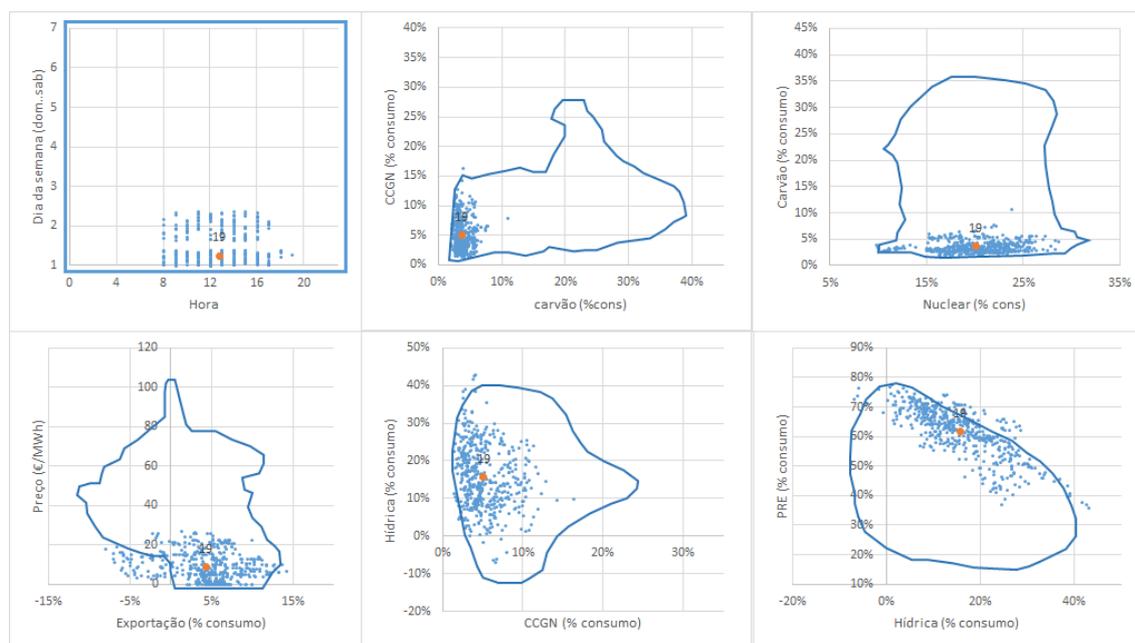


Figura 5.24: Cluster 19 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

Tabela 5.28: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 1 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
1	20%	4%	5%	16%	62%	4%	9

### 5.3.2 Padrão de produção tipo 2

O cluster 28, representado na figura 5.25, é a referência para este padrão. O período tem uma concentração muito clara dos dados nos dias de quinta e sexta-feira nas horas de vazio. Assim, significa que se refere a consumos baixos.

Os valores de produção relativos ao consumo são elevados para a nuclear, intermédios para o carvão e baixos para o CCGN. Por sua vez, os valores de PRE são elevados e a hídrica é muito baixa havendo bombagem em parte do cluster. É um dos poucos casos que concilia CCGN e bombagem. Existe principalmente exportação atingindo em alguns casos valores elevados. O preço tem um valor intermédio.

Tabela 5.29: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 2 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
2	22%	18%	7%	2%	53%	1%	35

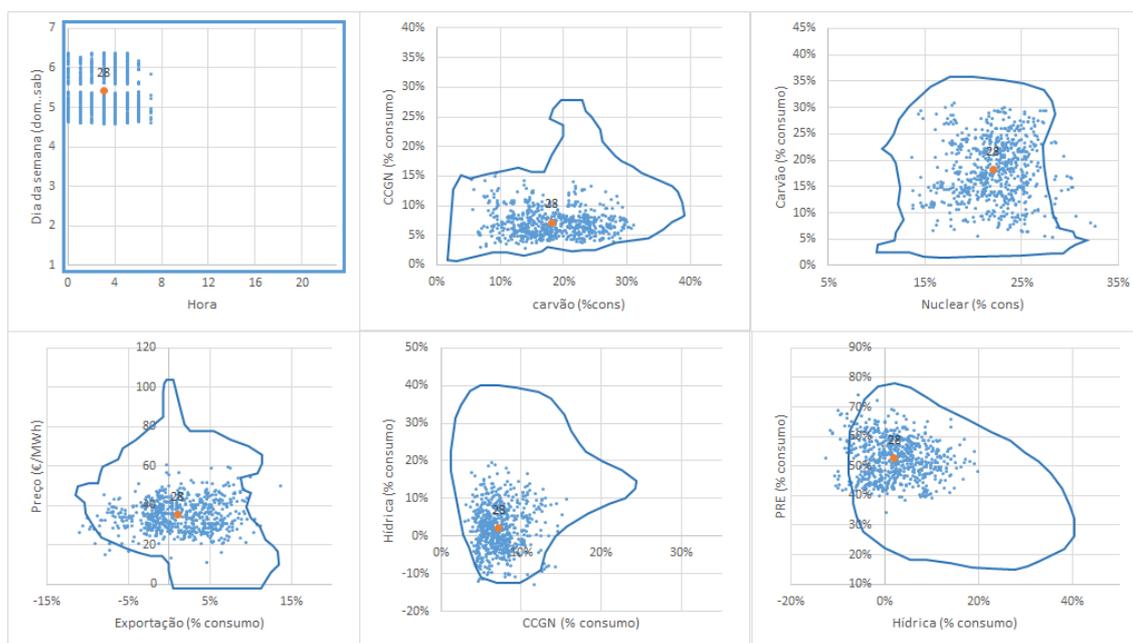


Figura 5.25: Cluster 28 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

### 5.3.3 Padrão de produção tipo 3

Este padrão tem como referência os clusters 22 e 44. O período de dados concentra-se principalmente ao fim-de-semana e dias de semana adjacentes. Abrange horas do fim do dia entre as 18 e as 24. Os consumos nesta altura serão altos apesar de considerar dias de fim-de-semana pois abrange horas de ponta.

Relativamente ao consumo, os valores de carvão e CCGN são muito baixos enquanto que a nuclear apresenta valores intermédios. A PRE apresenta valores elevados e a muito elevados hídrica. Esta conjugação é claramente exportadora com valores intermédios e os preços apresentam valores maioritariamente baixos.

Tabela 5.30: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 3 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
3	18%	5%	5%	25%	52%	4%	21

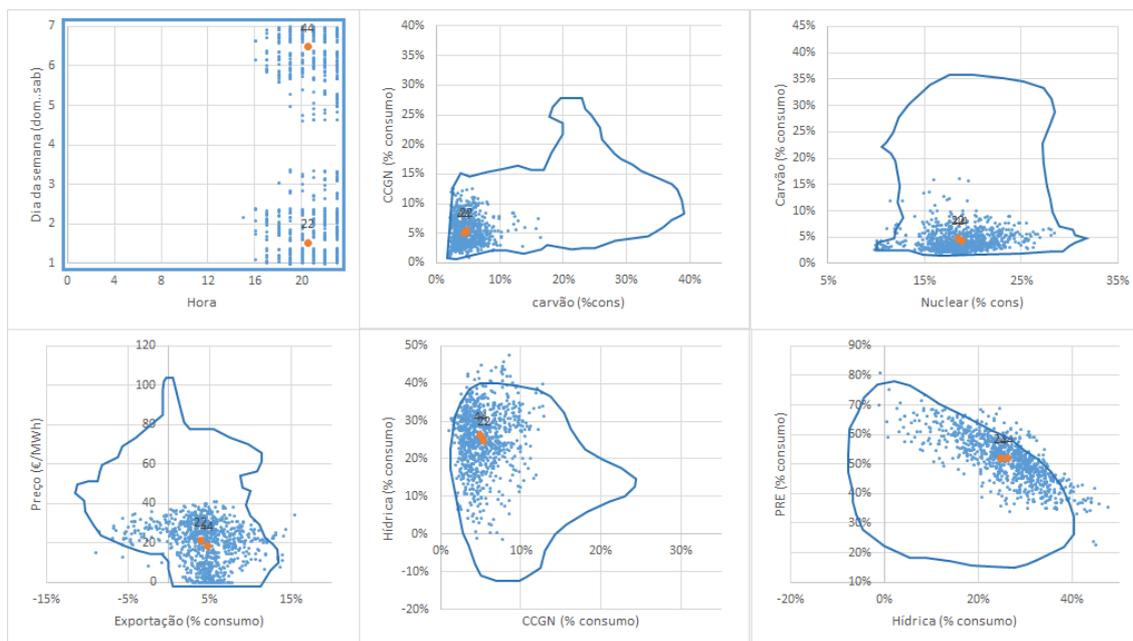


Figura 5.26: Clusters 22 e 44 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

### 5.3.4 Padrão de produção tipo 4

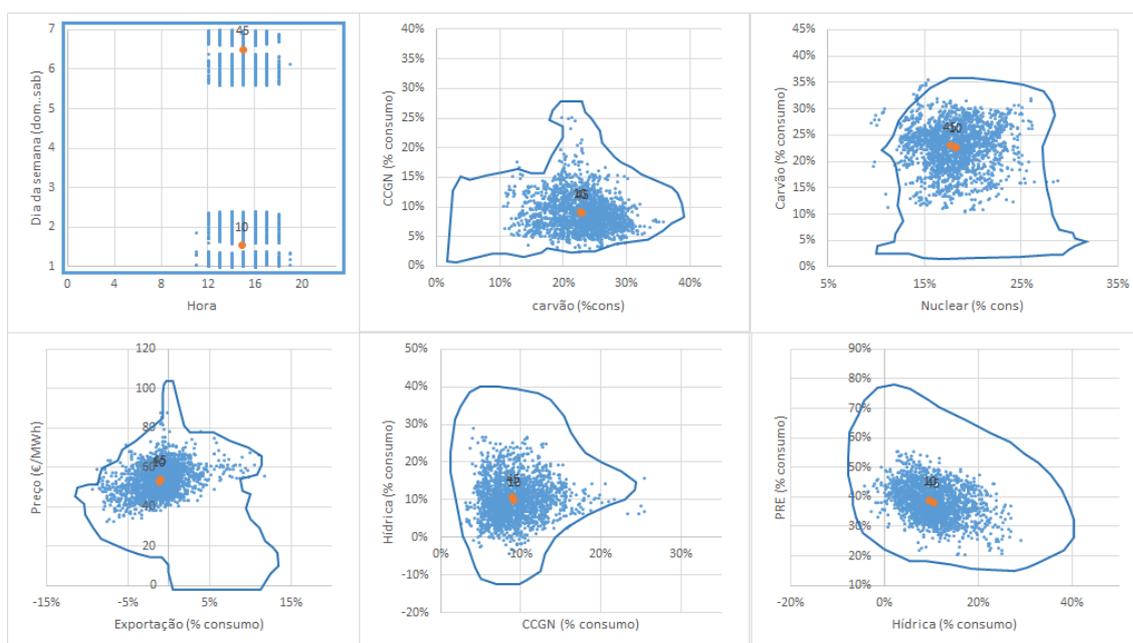


Figura 5.27: Clusters 10 e 45 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

Tabela 5.31: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 4 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
4	18%	23%	9%	10%	39%	-1%	53

A figura 5.27 tem dois clusters representados que servem de referência para o padrão 4. O período refere-se aos dias de fim-de-semana e dias de semana adjacentes, entre as 14 e as 18 horas. Mesmo abrangendo o fim-de-semana, representa horas de maior consumo Assim, o valor do consumo será intermédio ou alto.

Os valores relativos ao consumo apresentados, revelam um peso algo elevado do carvão e intermédio de CCGN. A nuclear apresenta valores intermédios baixos assim como a hídrica. A PRE também apresenta valores um pouco baixos. Existe principalmente importação e os preços são elevados.

### 5.3.5 Padrão de produção tipo 5

Tabela 5.32: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 5 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
5	18%	10%	8%	30%	37%	1%	38

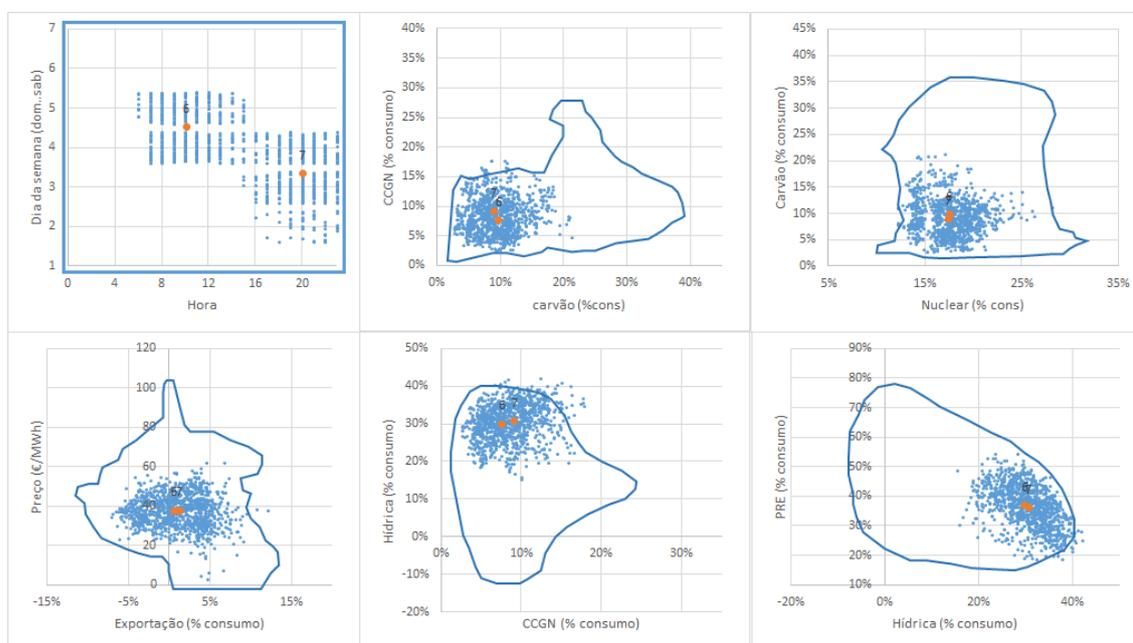


Figura 5.28: Clusters 6 e 7 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

O padrão 5 tem como referência dois clusters em períodos diferentes. Têm em comum serem dias da semana mas o cluster 6 representa quarta e quinta-feira entre as 8 e 14 enquanto que o

cluster 7 representa terça e quarta-feira entre as 18 e 24. O consumo para estes períodos será elevado uma vez que ambos abrangem períodos de ponta.

Relativamente ao consumo, temos valores baixos de nuclear e carvão e valores intermédios para o CCGN. A PRE apresenta valores intermédios e baixos enquanto que a hídrica tem o seus valores mais elevados. O cluster representa maioritariamente exportação apesar de também representar valores de importação. O preço apresenta valores intermédios.

### 5.3.6 Padrão de produção tipo 6

Os clusters 36 e 49 retratam o padrão 6. Estes clusters referem-se a um período de dias de semana entre terça e sexta-feira em horas de vazio. Desta forma será um período de consumos baixos.

Para este caso, o peso no consumo do carvão é muito elevado acompanhado também de valores intermédios de CCGN. A nuclear também apresenta um peso elevado no consumo. A PRE e a hídrica atingem valores muito baixos. Existe essencialmente importação atingindo mesmo os valores mais elevados deste caso. O preço é alto, um pouco superior ao preço intermédio.

Tabela 5.33: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 6 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
6	22%	29%	10%	5%	32%	-2%	48

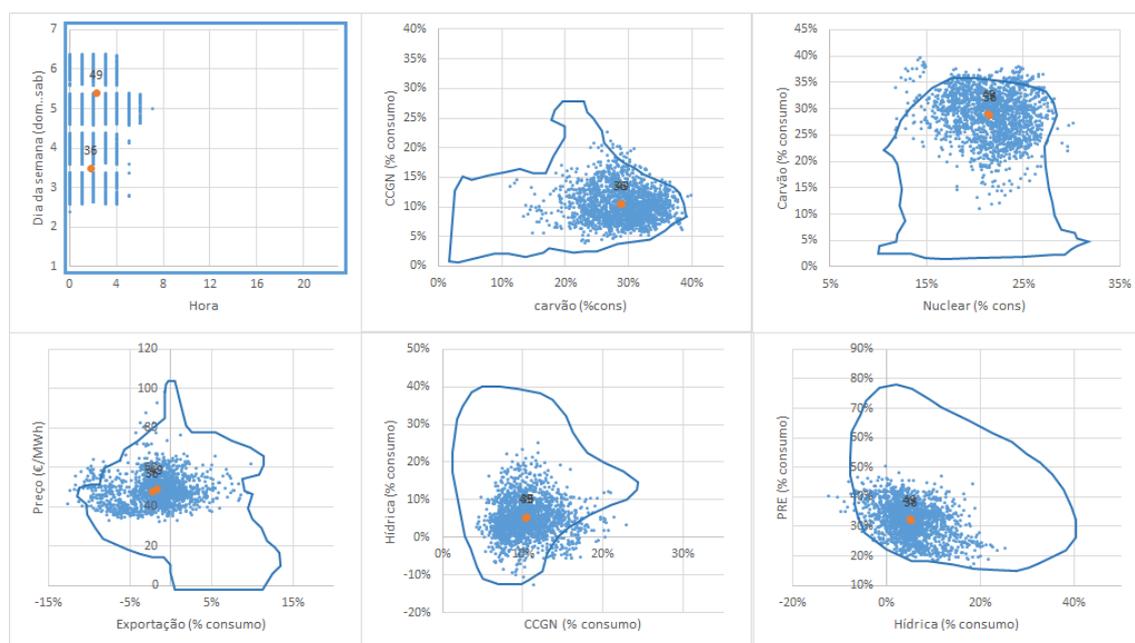


Figura 5.29: Clusters 36 e 49 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

### 5.3.7 Padrão de produção tipo 7

A figura 5.30 apresenta um agrupamento de 3 clusters. O período representado engloba principalmente segunda, quinta e sexta-feira com alguns pontos também em sábado. As horas englobam períodos com consumo intermédio ou alto.

Este caso apresenta valores elevados de carvão e muito elevados de CCGN ao contrario da nuclear que apresenta um peso mais baixo. A PRE tem valores baixos e a hídrica tem valores intermédios. Existe principalmente importação e os preços são muito elevados.

Tabela 5.34: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 7 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
7	17%	24%	11%	15%	30%	-1%	63

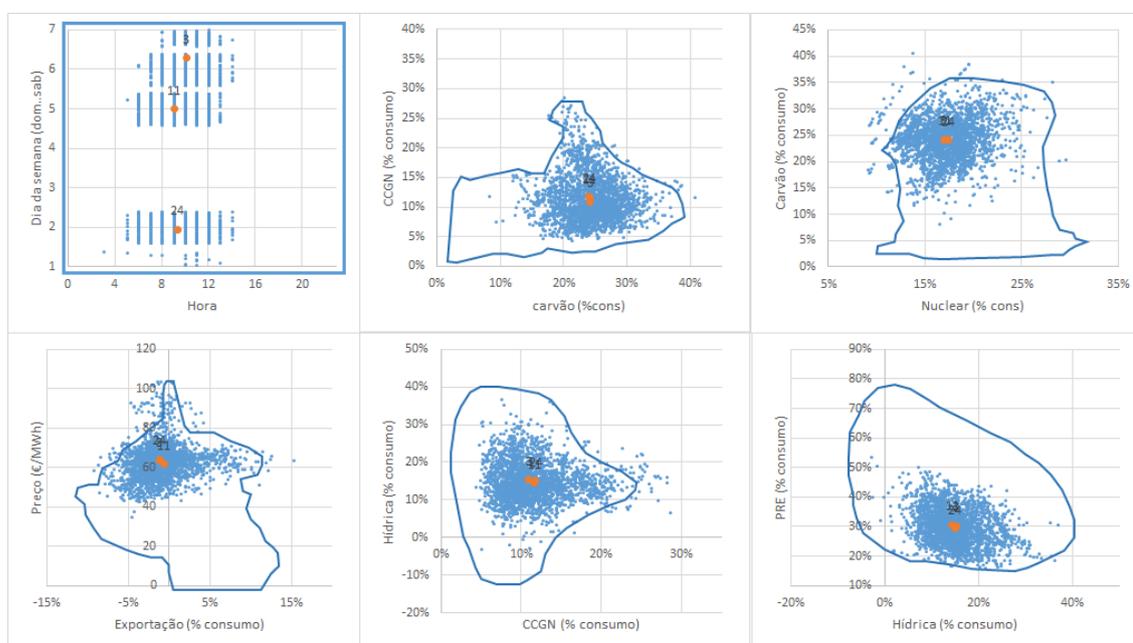


Figura 5.30: Clusters 3, 11 e 24 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

### 5.3.8 Padrão de produção tipo 8

Por fim, o padrão 8, tem como referência os clusters 12 e 17 que apresentam o valor mais elevado de CCGN. O período destes clusters engloba os dias de terça a sexta-feira em horas de ponta tendo por isso consumos muito elevados.

O peso no consumo do carvão é elevado e os valores de CCGN atingem o seu pico. O peso da nuclear é baixo e a PRE muito baixa. A hídrica apresenta valores intermédios. Os preços atingem os valores mais elevados e o cluster tem alguma variação entre períodos de importação e exportação.

Tabela 5.35: Valores de produção em relação ao consumo do padrão 8 na Península Ibérica.

Padrão	Nuclear	Carvão	CCGN	Hídrica	PRE	EXP	Preço €/MWh
8	16%	22%	16%	17%	29%	1%	75

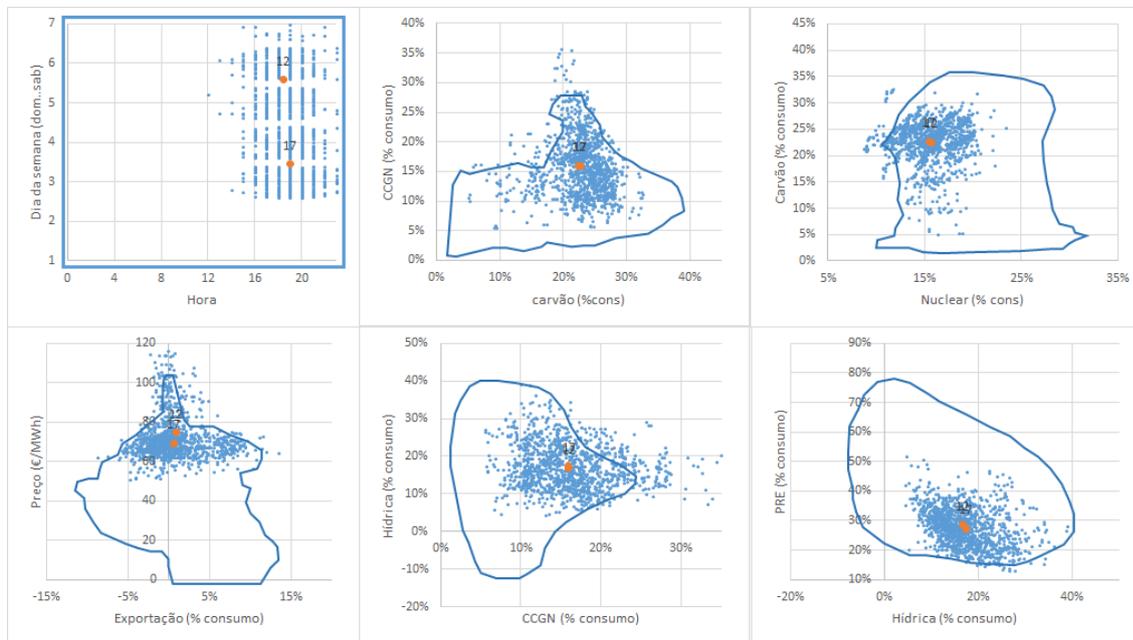


Figura 5.31: Clusters 12 e 17 do caso da Península Ibérica com 50 clusters.

## Capítulo 6

# Conclusões

### 6.1 Padrões em Portugal

Portugal apresenta valores bastante elevados de PRE e hídrica em relação ao consumo. Estes dois tipos de produção superam mesmo os 100% em alguns casos. Estão também por isso associados a períodos de elevada exportação.

A PRE tem como peso médio do consumo 45% podendo alternar entre 15% e 123% que são os casos extremos. Esta variação e peso elevado no consumo têm bastante influência no despacho. Para valores muito elevados de PRE estão associados valores baixos de carvão e CCGN ainda que no padrão 3 isso não aconteça. O padrão 3 está associado a um período de consumos de valor intermédio em que Espanha tem uma posição importadora e Portugal exportadora. Desta, forma é necessário complementar o despacho com um valor elevado de carvão uma vez que a hídrica apresenta um peso não muito elevado. Nos padrões 2 e 4 já existe maior peso de produção hídrica diminuindo o peso no carvão. Os três padrões apresentam valores muito elevados de exportação. Em sentido inverso, é para valores baixos de PRE estão associados valores elevados de carvão.

A produção hídrica apresenta de uma forma geral um peso elevado no consumo. Com centrais de ponta, a produção hídrica apresenta valores bastante elevados do consumo nos padrões de consumos elevados. A bombagem acontece principalmente para períodos de vazio em que a PRE tem um peso muito elevado no consumo. O padrão 5 representa isso mesmo onde podemos também observar um valor elevado de importação e intermédio de carvão.

O preço está associado principalmente quando ao peso da produção com carvão. É possível observar que os preços mais baixos acontecem quando o peso do carvão no consumo é também reduzido. Em sentido inverso, são mais elevados quando o peso do carvão é elevado. A produção com PRE e hídrica também contribuem para um preço reduzido uma vez que quando o seu peso no mix energético é elevado, o peso do carvão é reduzido tornando os preços mais baixos. Os padrões 2 e 4 apresentam os preços mais baixos entre os 10 padrões e ambos têm um peso elevado de PRE e hídrica no consumo. O padrão 2 está associado a um cluster que representa consumos baixos e o 4 consumos elevados. Os preços mais elevados acontecem quando a o peso da produção

com carvão é elevado juntando-se com valores elevados de CCGN. Como exemplo desta situação temos o padrão 10.

## 6.2 Padrões em Espanha

A energia nuclear em Espanha representa é bastante importante para o sistema elétrico uma vez que são centrais de base na produção. Verificou-se que a produção com nuclear é aproximadamente constante e, por isso, o seu peso no mix energético varia inversamente com o consumo. Ou seja, quando o consumo é elevado o peso da produção nuclear é baixo e quando o consumo é baixo, o peso no consumo é elevado. É possível verificar isso nos padrões 2, 3, 6 e 8 que apresentam uma percentagem entre 19% e 23% e correspondem a períodos de consumos elevados. Em sentido contrário, os outros padrões apresentam percentagens entre 26% e 29% e correspondem a períodos com consumos baixos. Com valores médio de produção que representa 23% do consumo e variando entre 10 e 39%, tem sempre um peso importante no mix energético.

A produção com carvão está associada a períodos com consumos altos ou menor peso no consumo de produção hídrica e PRE. Como exemplo disso temos os padrões 7 e 8 que apresentam um peso elevado no consumo para períodos de vazio e e de consumo muito elevado respetivamente. Outro exemplo são os padrões 1, 2 e 3 onde o peso do carvão no consumo é bastante reduzido devido aos valores elevados de PRE e hídrica. Valores elevados de carvão relativamente ao consumo estão também relacionados com preços mais elevados.

As centrais de produção com CCGN são centrais de ponta e portanto respondem claramente ao consumo. Para consumos reduzidos, o seu peso é muito reduzido, para consumos elevados, o seu peso é elevado. De notar que apenas existem valores elevados no mix energético quando também existem valores elevados do peso do carvão o que demonstra a resposta aos consumos elevados. No entanto, também está dependente da produção de PRE e hídrica. Como exemplo, temos o padrão 8 que apresenta um peso muito elevados no consumo de CCGN atingindo os 18%. Isto acontece porque representa um período de consumos muito elevados e ao mesmo tempo a PRE tem valores muito baixos e a hídrica apenas contribui com valores intermédios. Isto reflete-se em preços muito elevados. No padrão 2, também para um consumo elevado, existe bastante PRE e valores mais elevados de hídrica e por isso os valores CCGN já são mais reduzidos assim como os de carvão. Neste cenários os preços são intermédio.

A PRE tem uma grande variação pois está dependente em grande parte de condições atmosféricas que influenciam a produção com renováveis. No entanto, tem sempre um peso importante no mix energético visto que o seu valor mínimo é de 14% do consumo e o valor médio é de 41% podendo mesmo chegar a 85%. Valores elevados de PRE estão relacionados com valores de exportação, principalmente se acontecerem em horas de vazio. É esse o caso do padrão 1 em que em horas de vazio e um peso no consumo de 64% refletem-se em valores de 5% do consumo em exportação. O peso de PRE no consumo tem normalmente uma proporção inversa aos preços, ou seja, quando a PRE é elevada, os preços são mais baixos. Mais uma vez podemos ver isso no padrão 1 e nos padrões 7 e 8 observa-se o contrário. Isto acontece porque tendo um peso no

consumo reduzido, existem maior peso da produção com carvão ou CCGN dependendo também da hídrica.

As centrais hidroelétricas são centrais de ponta e portanto reagem ao consumo produzindo mais energia quando existe maior consumo. No entanto, está dependente do armazenamento de água das albufeiras e caudais dos rios. Assim, é necessário haver um equilíbrio na utilização de produção hídrica com a térmica. O padrão 8, que tem consumos elevados, apresenta um valor intermédio do peso da hídrica no consumo e valores muito altos de CCGN. Já no padrão 6 também existem consumos elevados mas como existe um peso maior de hídrica a produção térmica é mais reduzida.

### 6.3 Padrões na Península Ibérica

A Península Ibérica representa o conjunto de dados de Portugal e Espanha. Portugal tem um consumo médio equivalente a um quinto do consumo médio em Espanha. Desta forma, o peso de cada país no comportamento global da Península Ibérica é bastante diferente.

Como Portugal não tem produção de energia nuclear, apenas Espanha contribui com este tipo de produção para o conjunto da Península Ibérica. Assim, a nuclear acaba por perder influência no mix energético relativamente ao que sucede em Espanha uma vez que a produção é a mesma para um consumo mais elevado. Podemos verificar isso tendo como exemplos o padrão 8 com consumos bastante elevados e um peso de nuclear no consumo de 16% e em sentido inverso o padrão 2 que abrange períodos de vazio e tem um peso de 22% no consumo.

Nos restantes tipos de produção, a península Ibérica apresenta um comportamento muito semelhante a Espanha. Ainda assim consegue-se perceber um ligeiro impacto de Portugal principalmente na produção hídrica apresentando valores mais elevados de uma forma geral.

A exportação acontece principalmente para valores elevados de PRE e hídrica enquanto que a importação acontece principalmente quando os valores destas variáveis são baixos.

### 6.4 Satisfação dos Objetivos

Os objetivos propostos foram atingidos no decorrer deste trabalho. Foram recolhidos os dados de produção e intercâmbios para Portugal e Espanha para o período de Janeiro de 2013 a Novembro de 2016. Ao mesmo tempo, foram também recolhidos para o mesmo período os preços do mercado Ibérico de eletricidade, MIBEL. Os dados recolhidos foram tratados de forma a poderem ser analisados e comparados. Foi feita uma sincronização dos dados de Portugal e Espanha permitindo também analisar a Península Ibérica como um todo. Os três casos foram analisados relativamente às variáveis temporais como o mês, dia da semana e hora e também pelo consumo. Foi aplicada uma técnica de reconhecimento de padrões de produção em relação ao consumo baseada em clustering, agrupamento de dados, que permite de uma forma gráfica analisar os padrões identificados e comparar as diferentes variáveis. Ao longo do trabalho, foi feita uma análise do impacto dos comportamentos de produção, em relação ao consumo, com o preço e os intercâmbios.

Este estudo pode ter uma utilização didática em que é possível verificar efetivamente os padrões de produção existentes na Península Ibérica. Pode também ser um auxiliar para o estudo do comportamento de alguns tipos de produção em certos períodos de maior interesse ou na escolha das tecnologias a investir no sistema eletroprodutor.

# Bibliografía

- [1] Gómez Expósito, Antonio. *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*. 2002
- [2] IEA. *Energy Policies of IEA Countries Spain 2015 Review*. 2015.
- [3] IEA. *Energy Policies of IEA Countries Portugal 2016 Review*. 2016.
- [4] Centro de Informação REN - Diagrama de estatística diária  
<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaDiariaDiagrama.aspx>
- [5] REE - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica  
<https://demanda.ree.es/movil/peninsula/demanda/total>
- [6] REE - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica  
<http://www.mercado.ren.pt/PT/Electr/InfoMercado/InfOp/MercOmel/Paginas/Precos.aspx>
- [7] REE - Sistema de informacion del operador del sistema  
<https://www.esios.ree.es/es/generacion-y-consumo>
- [8] Red Electrica de España. *El Sistema Eléctrico Español 2013*. 2013.
- [9] Red Electrica de España. *Red Eléctrica publica el 'Informe del sistema eléctrico 2014'*. 2014.
- [10] Red Electrica de España. *El Sistema Eléctrico Español 2015*. 2015.
- [11] Red Electrica de España. *El Sistema Eléctrico Español*. 2016.
- [12] Filipe de Matos Cardoso *A Interligação Elétrica entre Portugal e Espanha*. 2011
- [13] Blanco, Marta Poncela and Spisto, Amanda and Fulli, Gianluca. *Generation Adequacy Methodologies Review*. 2016.
- [14] Directorate-General for Economic and Financial Affairs. *Energy economic developments: Investment perspectives in electricity markets*. 2015.
- [15] Carlsson, Johan. *ETRI 2014 - Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050*. 2015.

- [16] Bezdec, J.C. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, New York, 1981.
- [17] Jain A K, Murty M N, Flynn P J, Rosenfeld Azriel, Bowyer K, Ahuja N. *Data Clustering: A Review*. ACM Computing Surveys, 1999
- [18] G. Chicco, "Overview and performance assessment of the clustering methods for electrical load pattern grouping," *Energy*, vol. 42, pp. 68-80, 6// 2012.
- [19] Z. KL and Y. SL, An improved fuzzy c-means algorithm for power load characteristics classification. *Power System Protection and Control* vol. 40 (22), 2012.
- [20] A. K. Jain and R. C. Dubes, *Algorithms for Clustering Data*: Michigan State University, 1988.

# Anexo A

## A.1 Gráficos para suporte na análise de dados do capítulo 3.

### A.1.1 Portugal

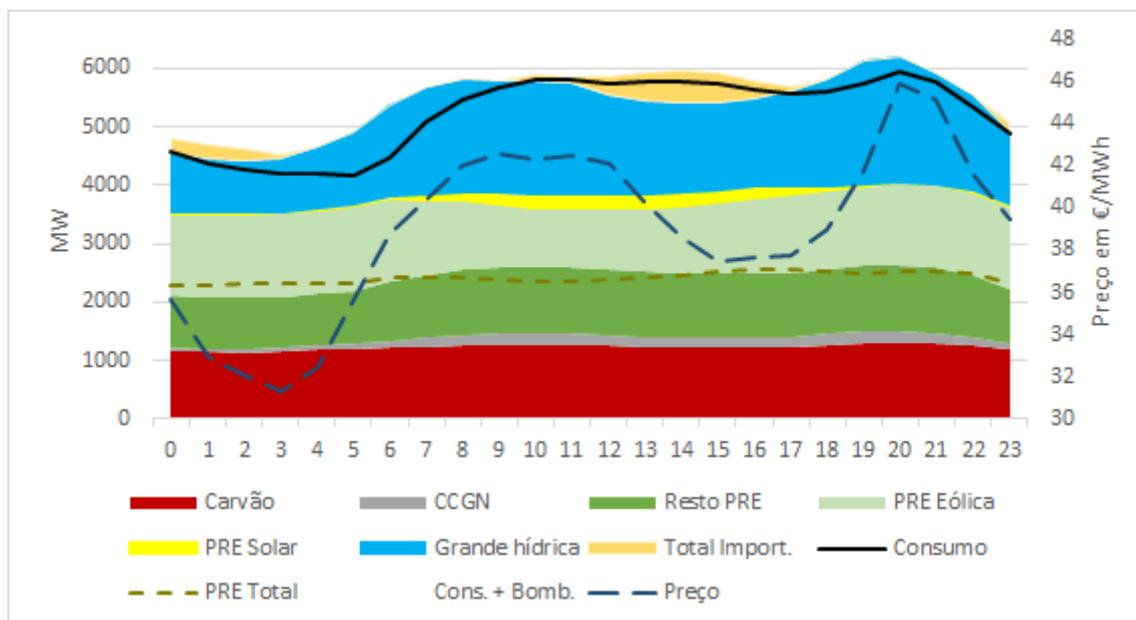


Figura A.1: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de maio.

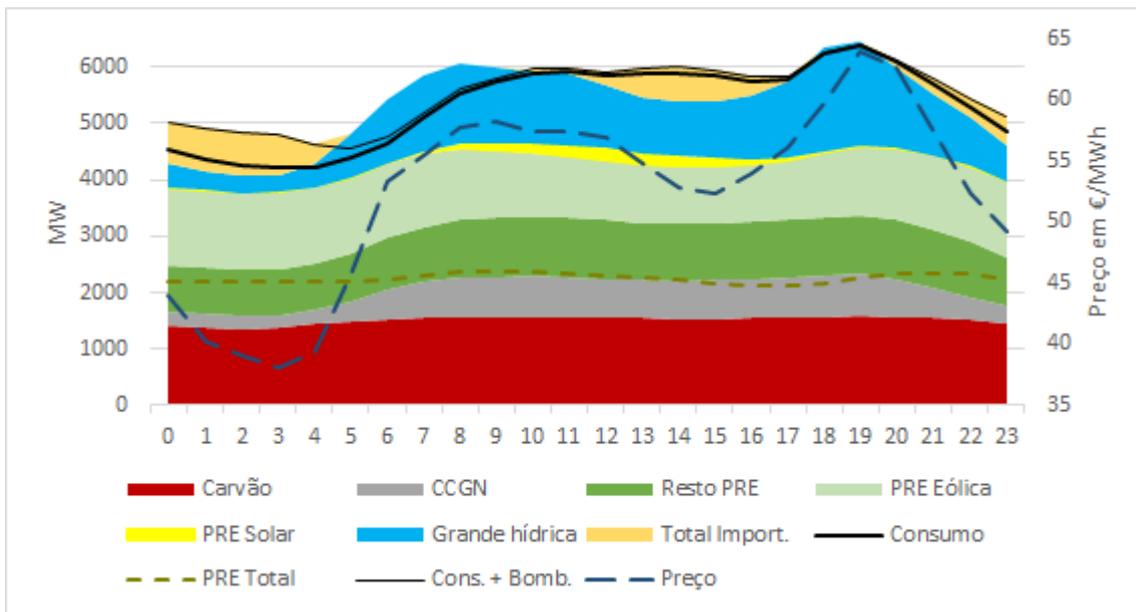


Figura A.2: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto.

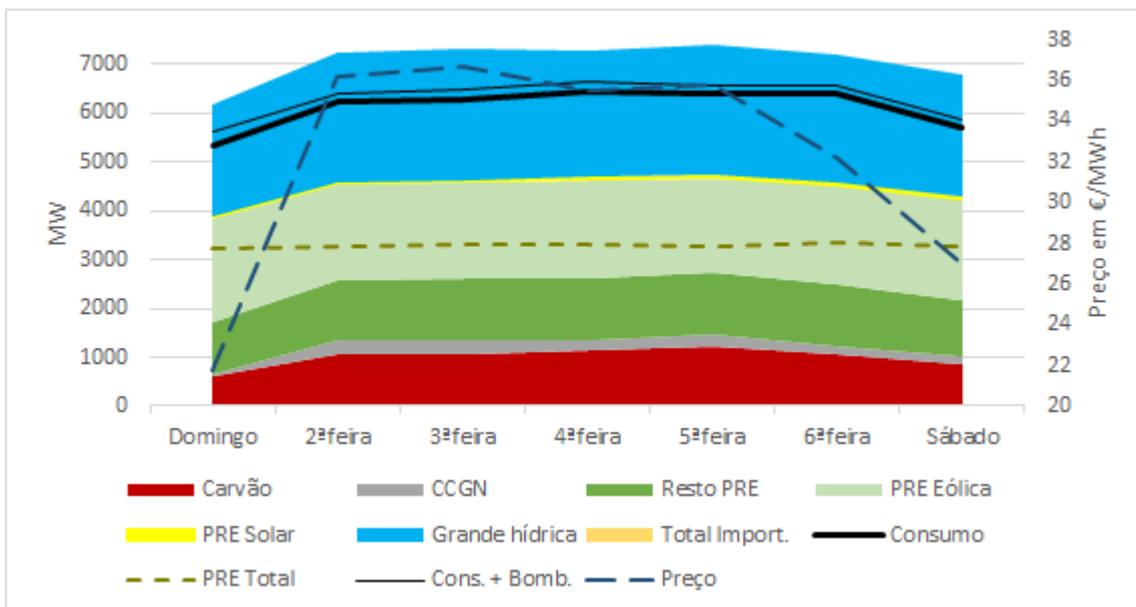


Figura A.3: Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de fevereiro.

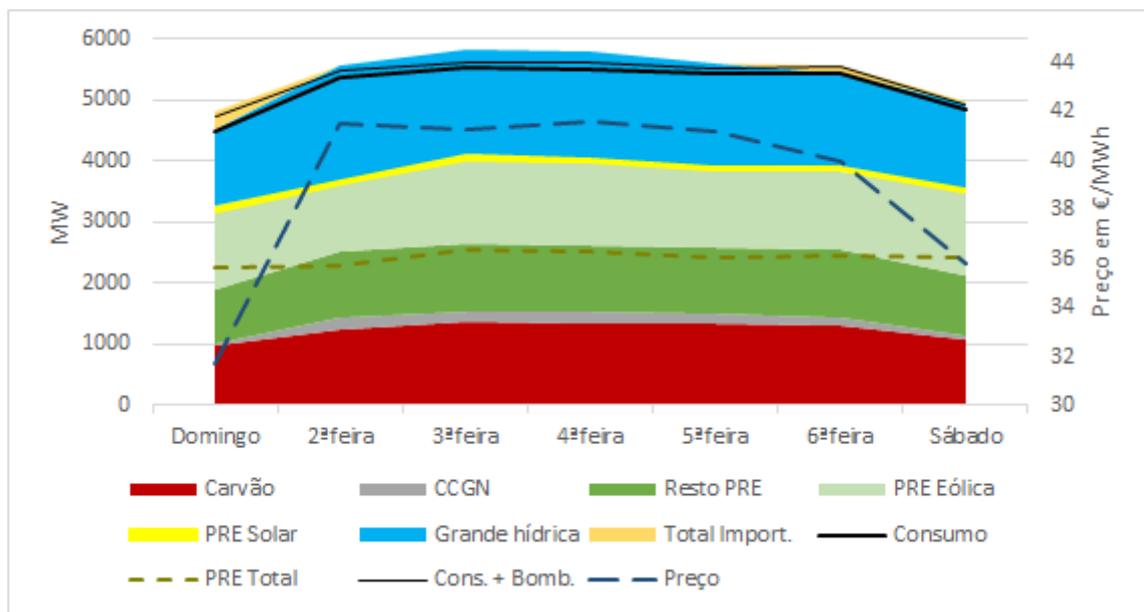


Figura A.4: Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de maio.

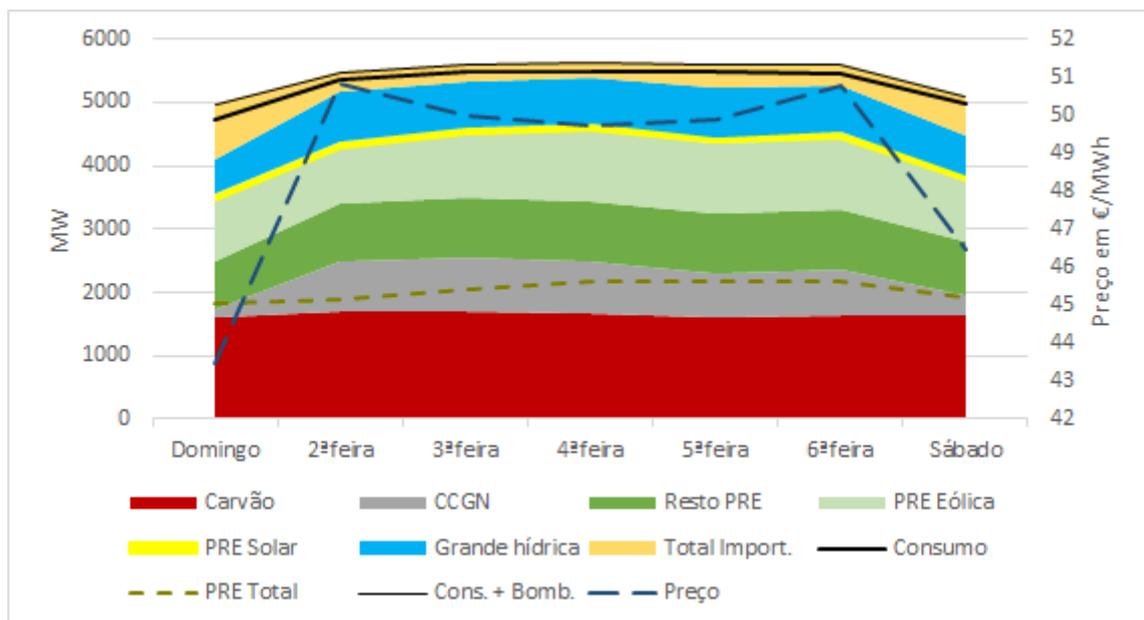


Figura A.5: Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de agosto.

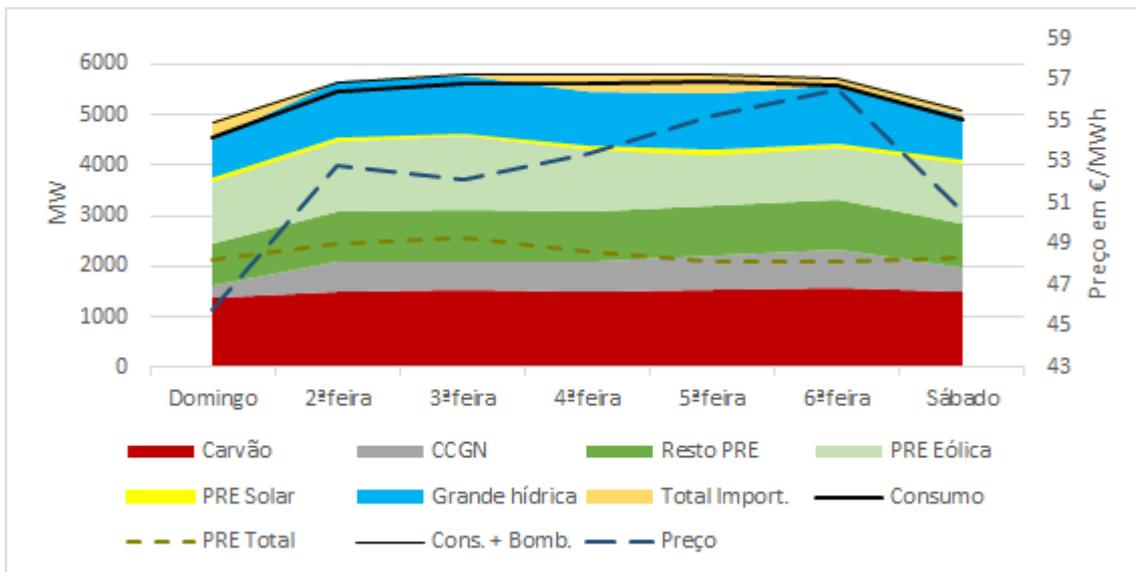


Figura A.6: Diagrama de médias por dias da semana do despacho, carga e preços em Portugal no mês de outubro.

### A.1.2 Espanha

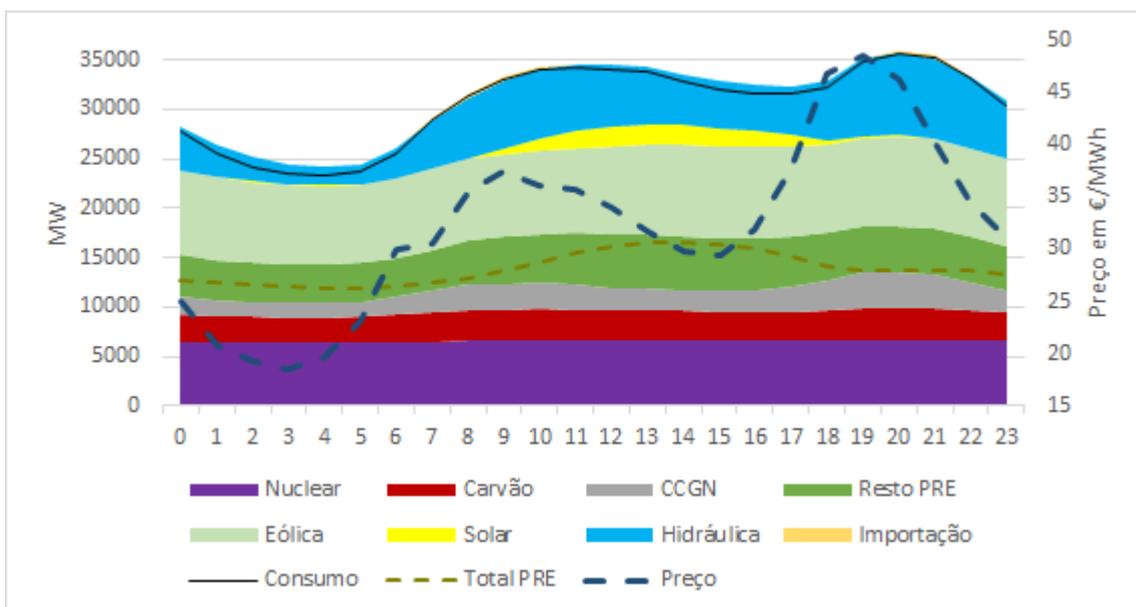


Figura A.7: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de fevereiro.

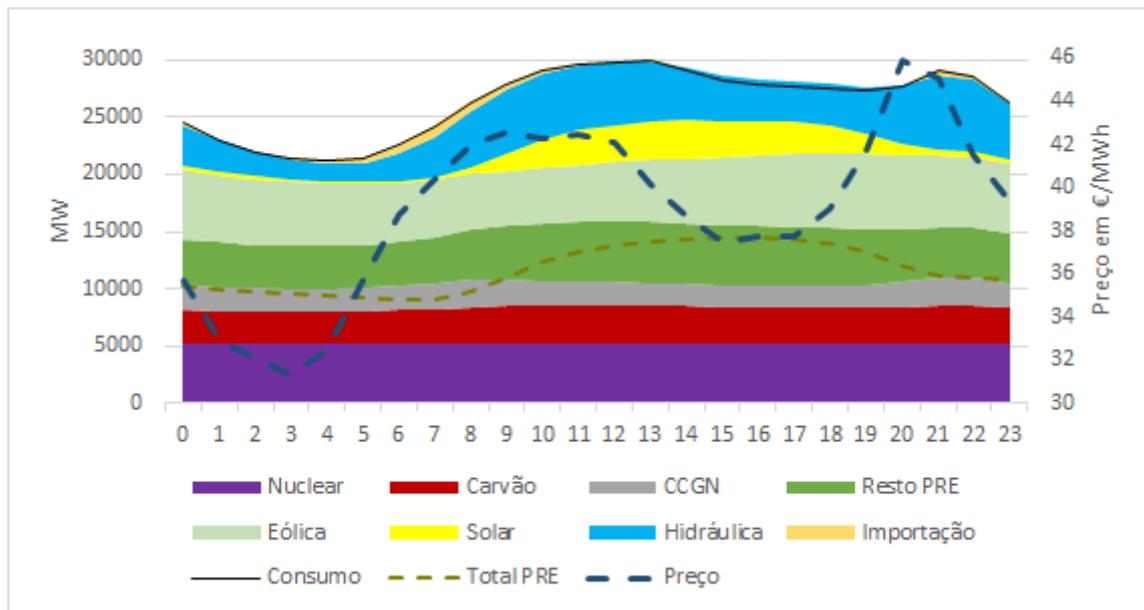


Figura A.8: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de maio.

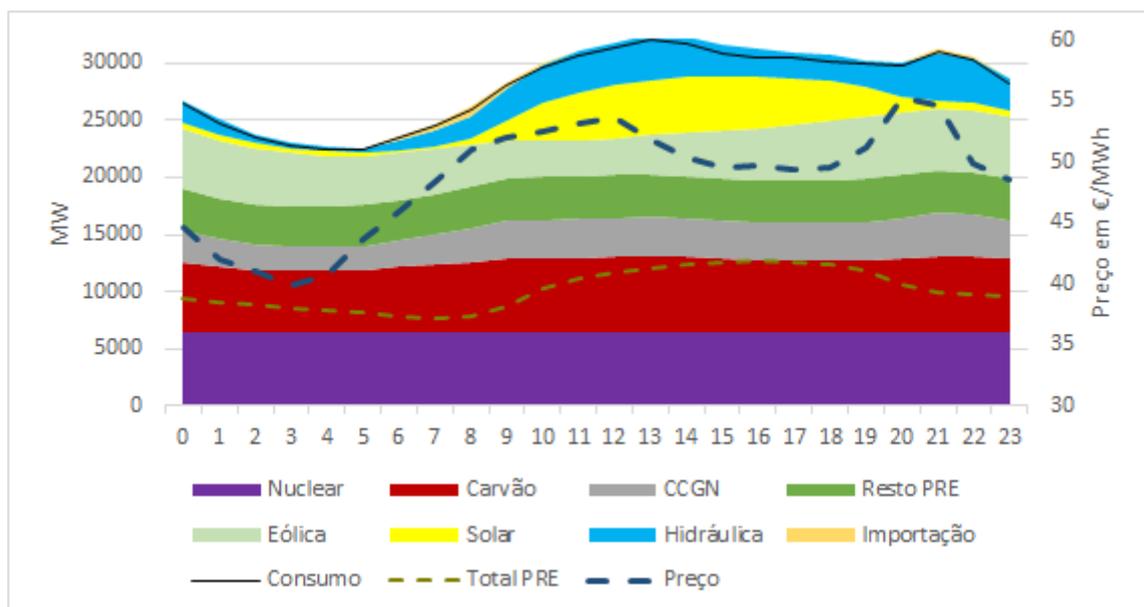


Figura A.9: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de agosto.

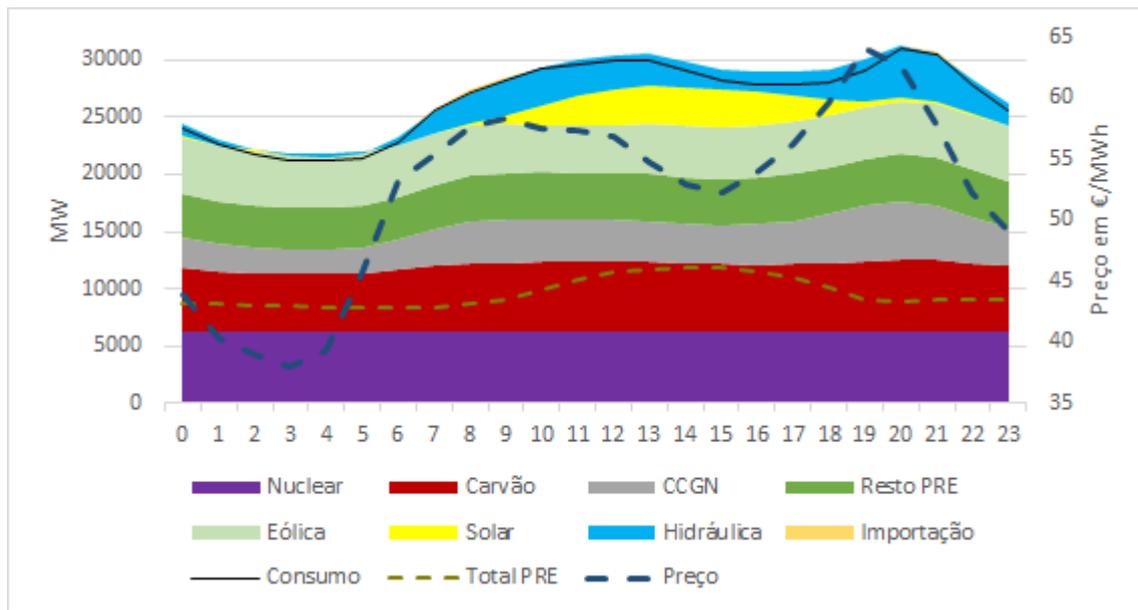


Figura A.10: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços em Espanha no mês de outubro.

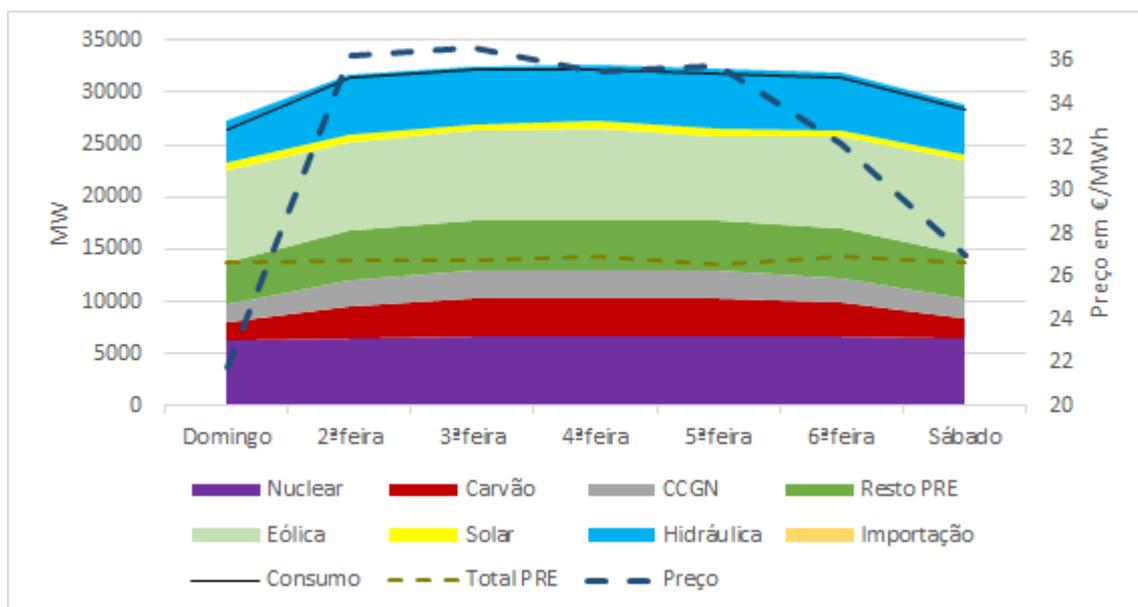


Figura A.11: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de fevereiro.

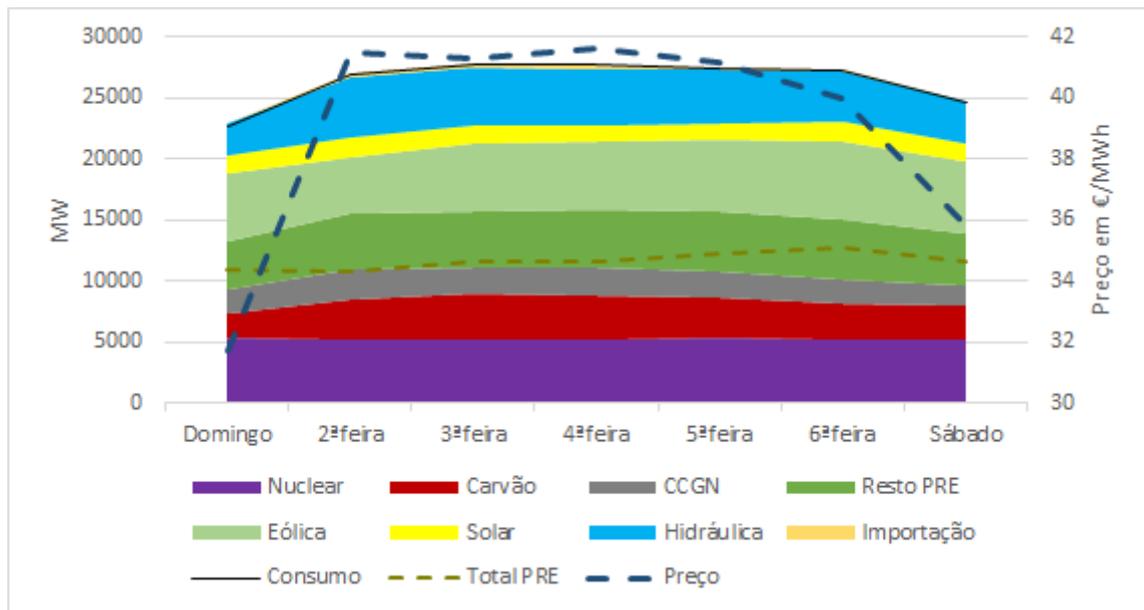


Figura A.12: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de maio.

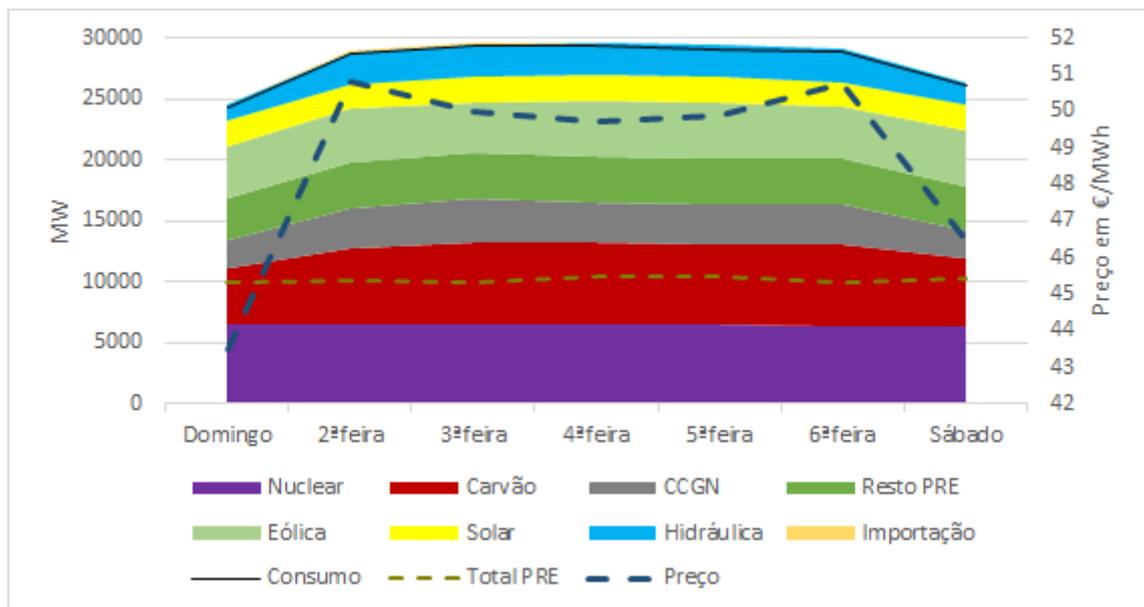


Figura A.13: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de agosto.

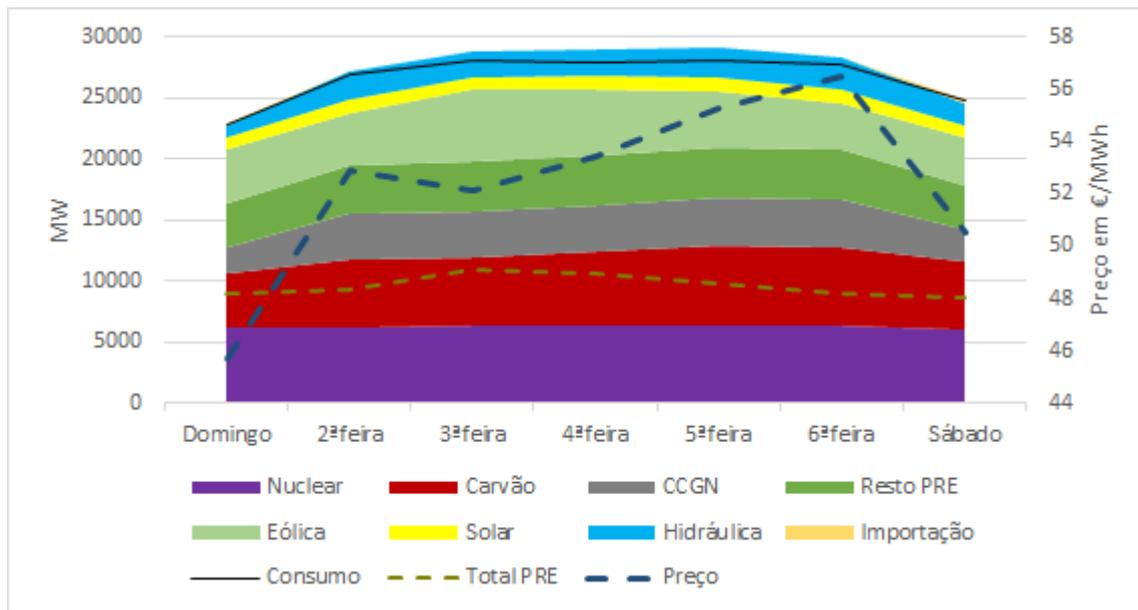


Figura A.14: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços em Espanha no mês de outubro.

### A.1.3 Península Ibérica

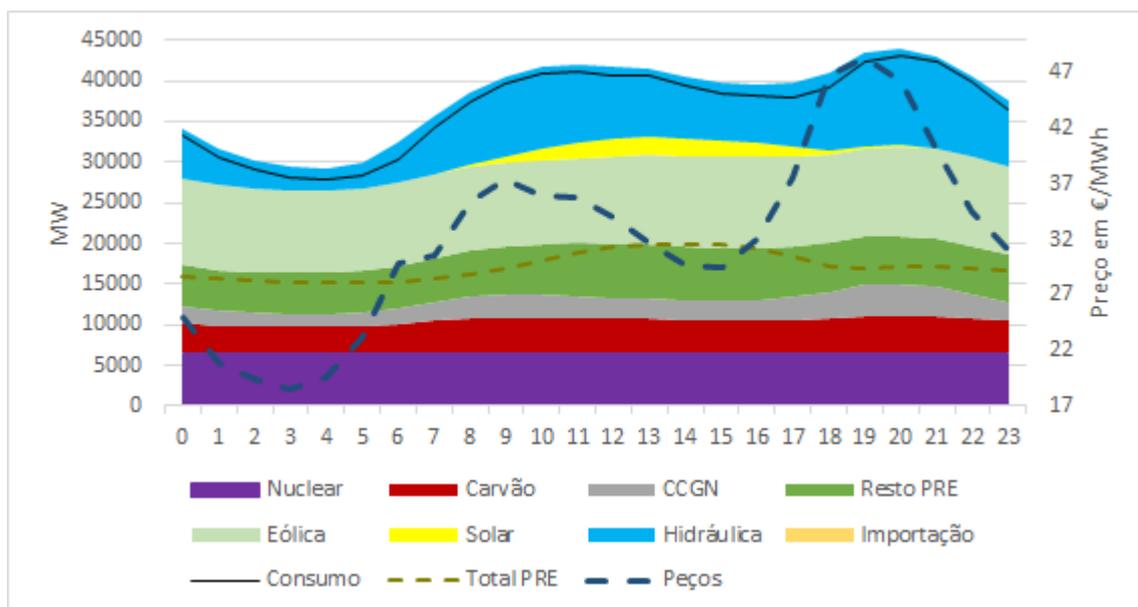


Figura A.15: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de fevereiro.

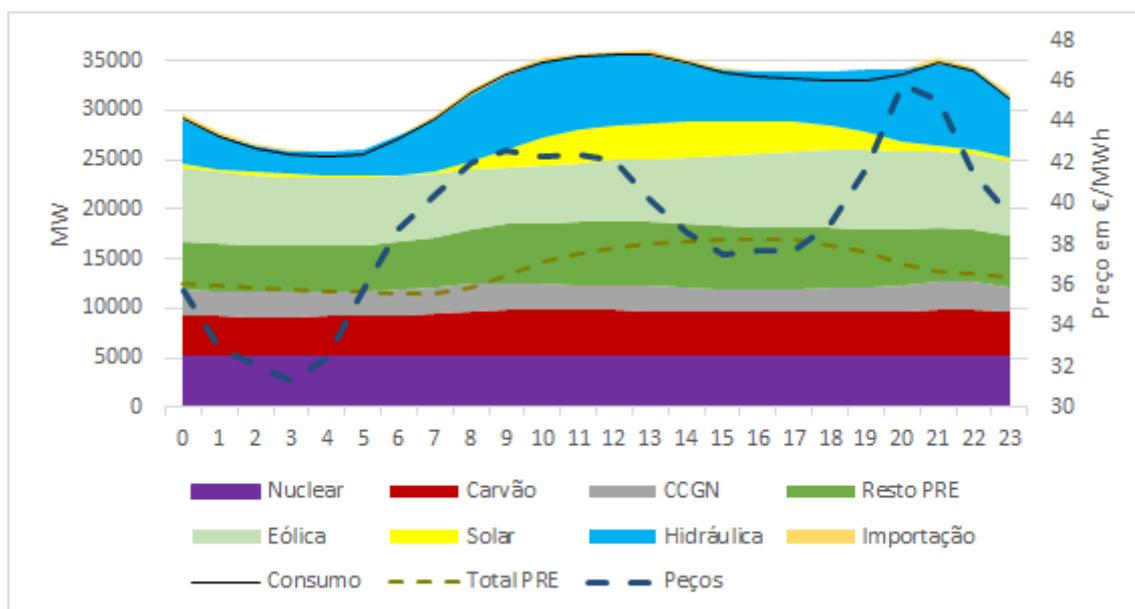


Figura A.16: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de maio.

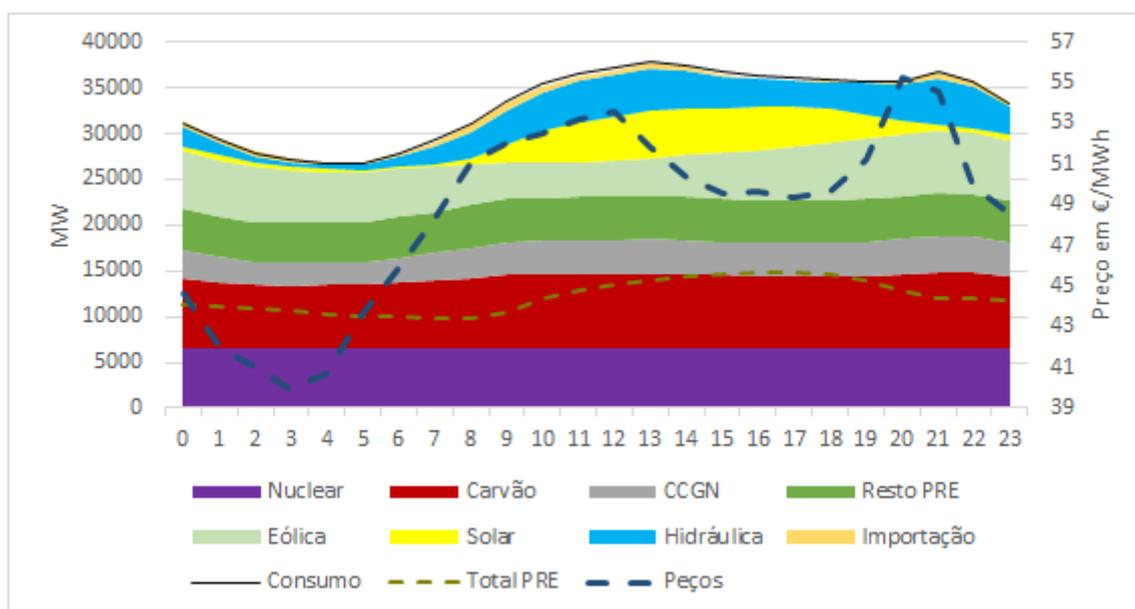


Figura A.17: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de agosto.

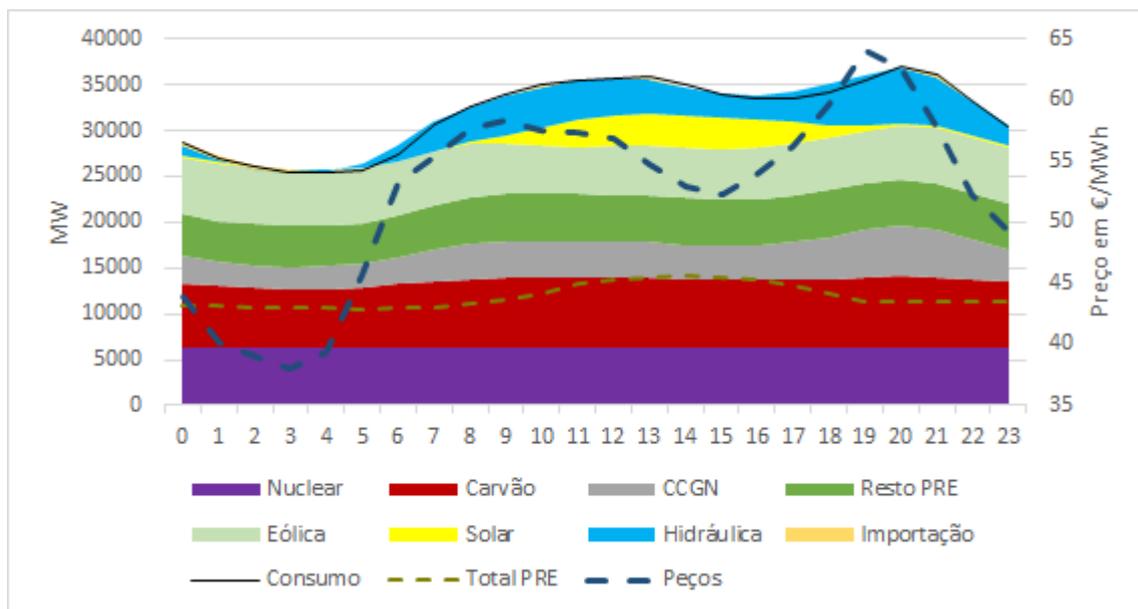


Figura A.18: Diagrama de médias horárias do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de outubro.

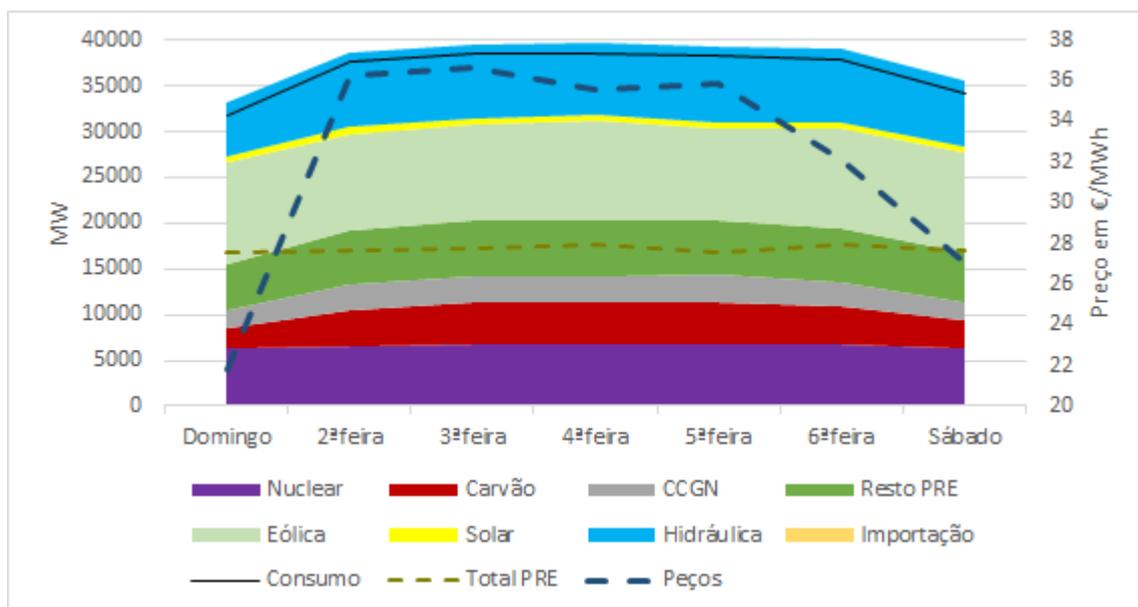


Figura A.19: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de fevereiro.

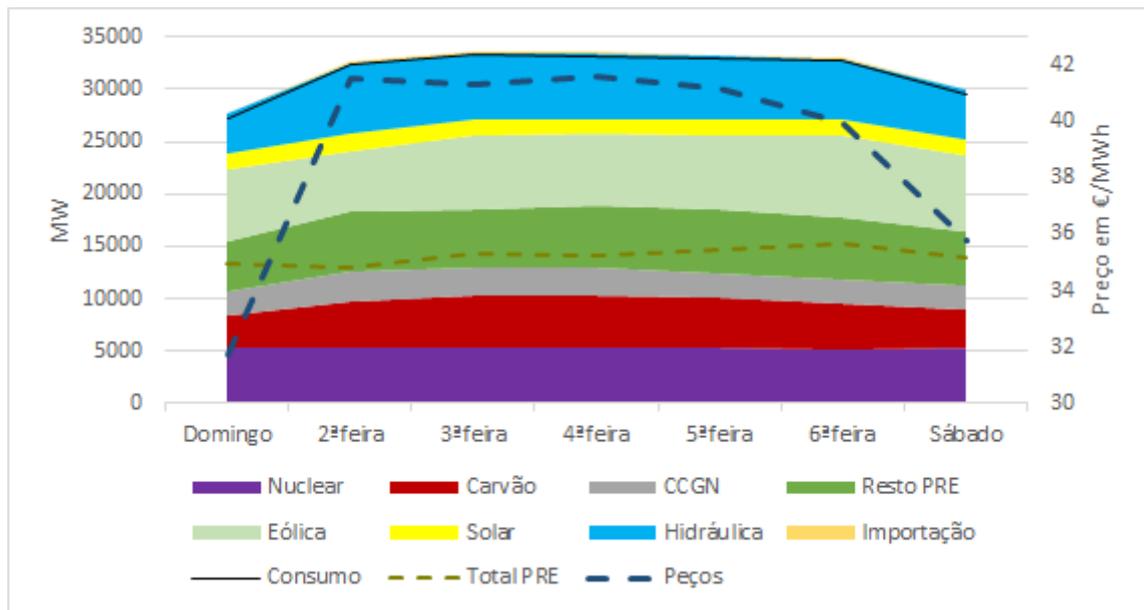


Figura A.20: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de maio.

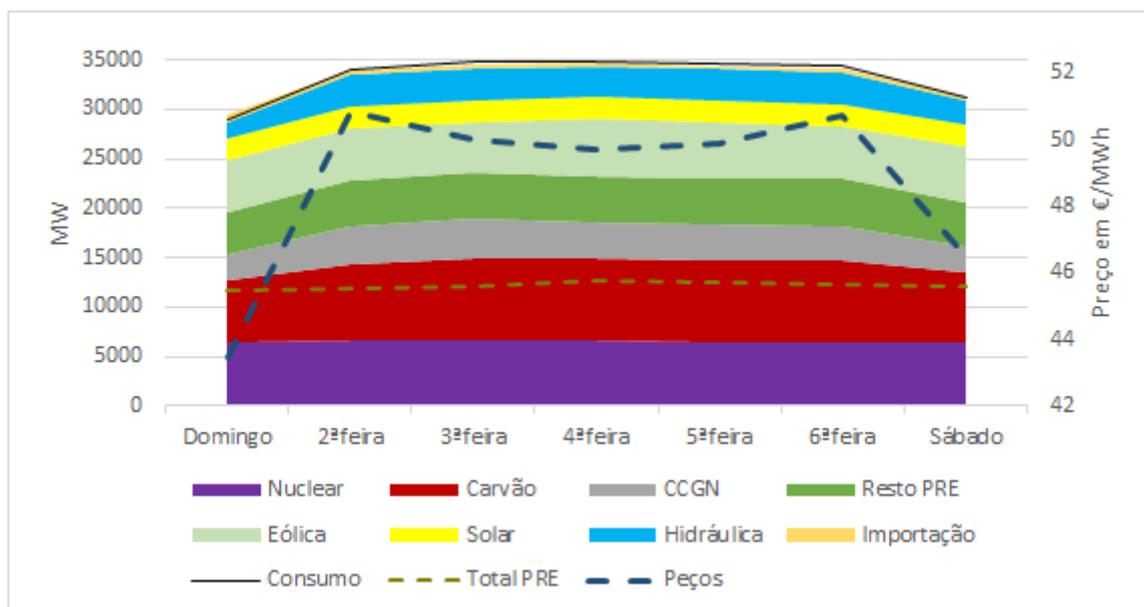


Figura A.21: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de agosto.

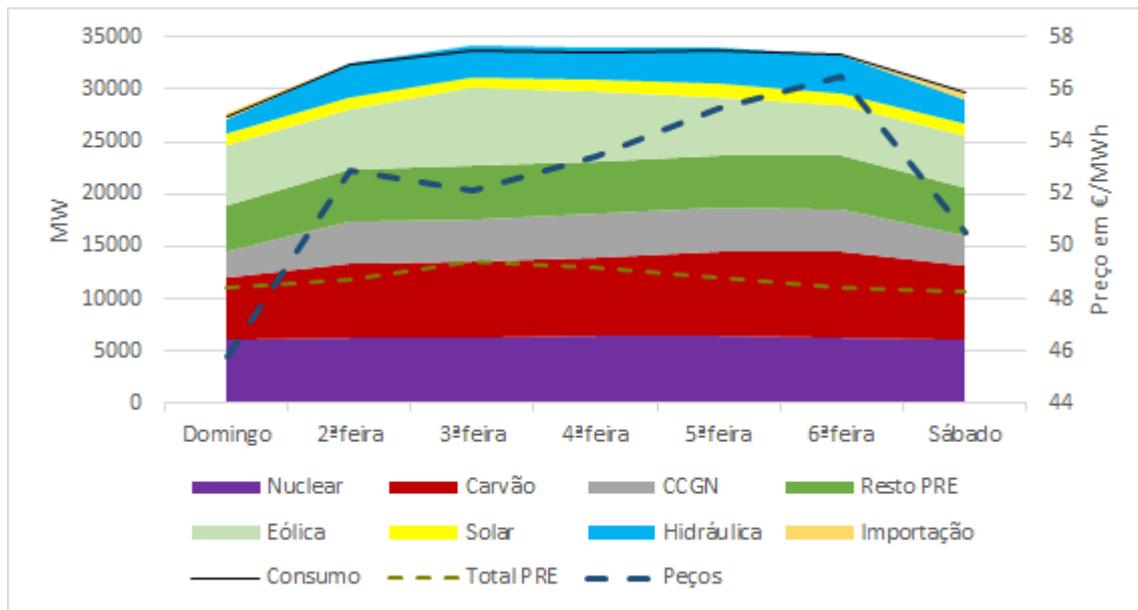


Figura A.22: Diagrama de médias por dia da semana do despacho, carga e preços na Península Ibérica no mês de outubro.

## Anexo B

### B.1 Gráficos para suporte à metodologia de clustering e à caracterização de padrões no capítulo 5.

#### B.1.1 Portugal

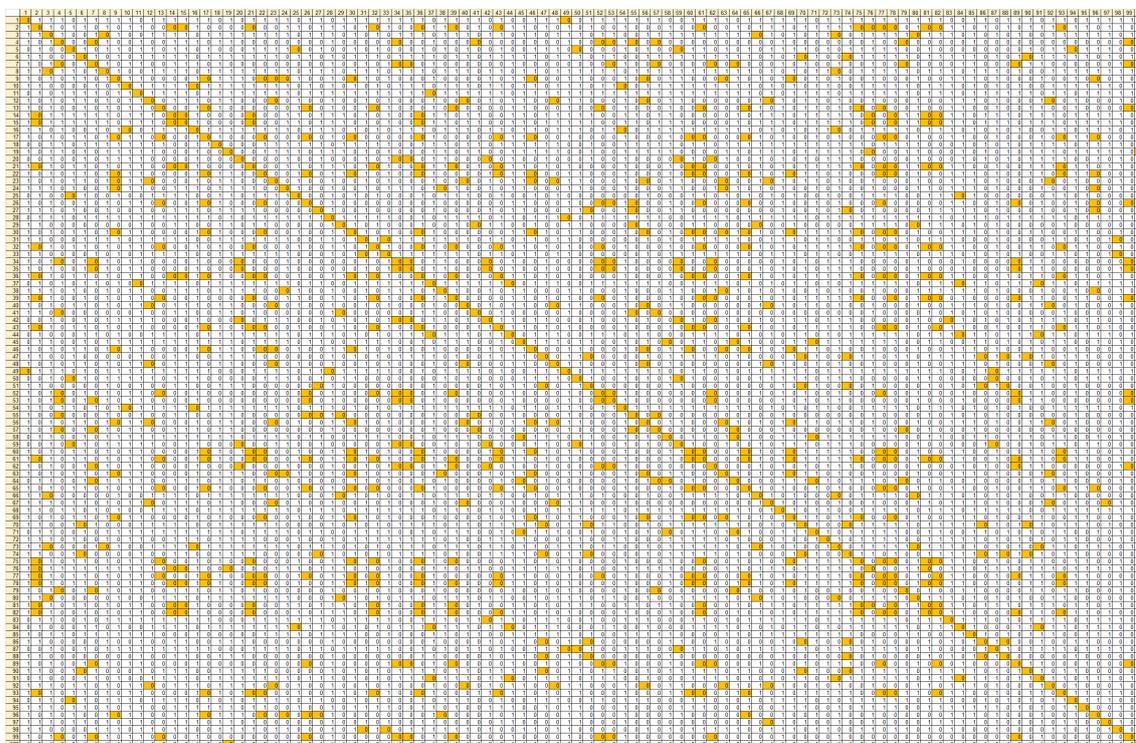


Figura B.1: Proximidade dos Clusters - 100 clusters, Portugal.

### B.1.2 Espanha

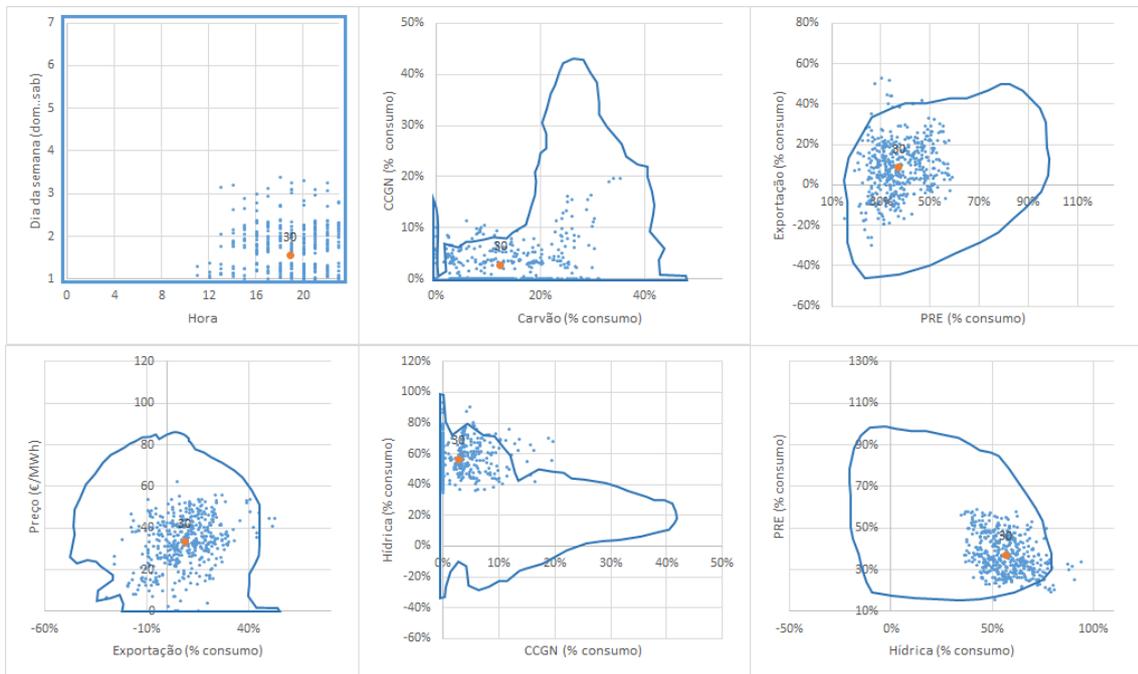


Figura B.2: Cluster 30 no estudo de 50 clusters para Espanha.

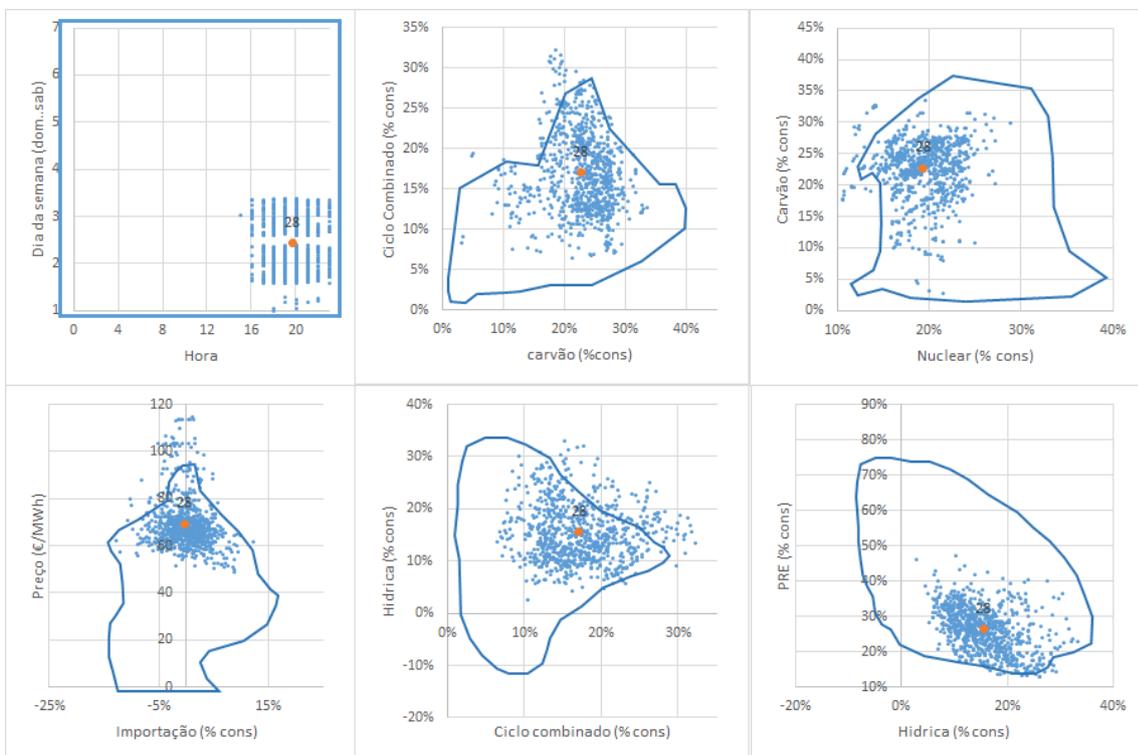


Figura B.3: Cluster 28 no estudo de 50 clusters para Espanha.

B.1 Gráficos para suporte à metodologia de clustering e à caracterização de padrões no capítulo 8

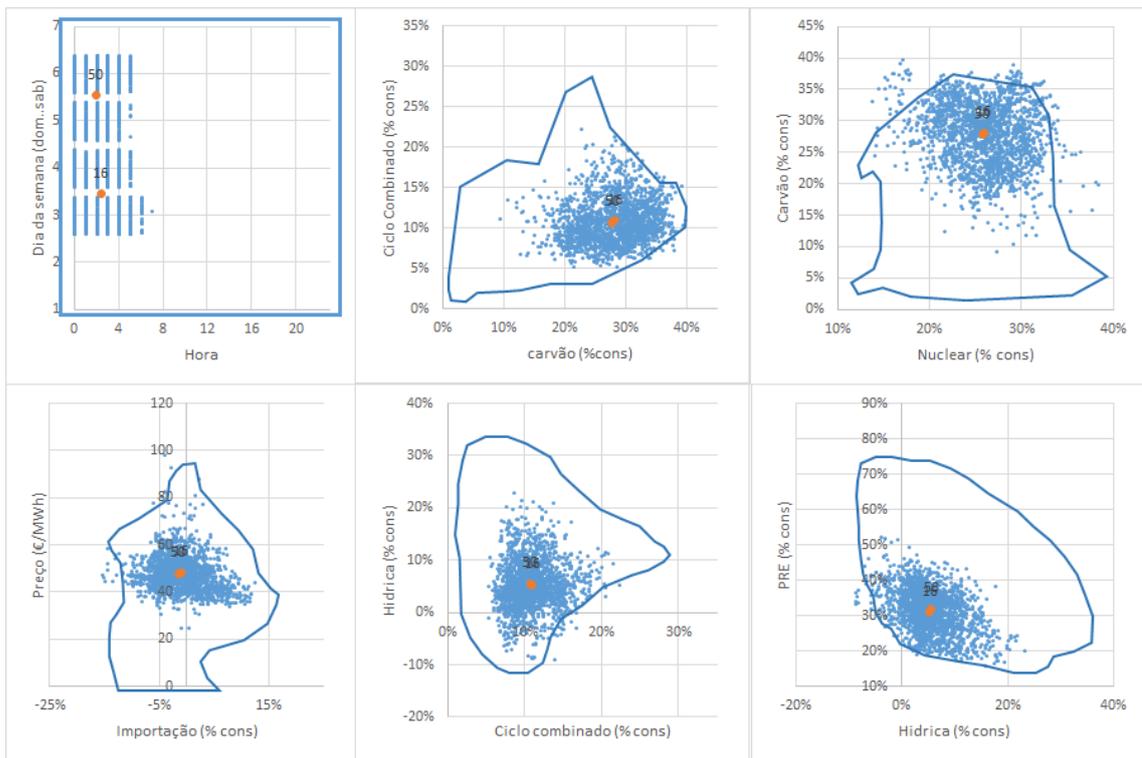


Figura B.4: Clusters 16 e 50 no estudo de 50 clusters para Espanha.

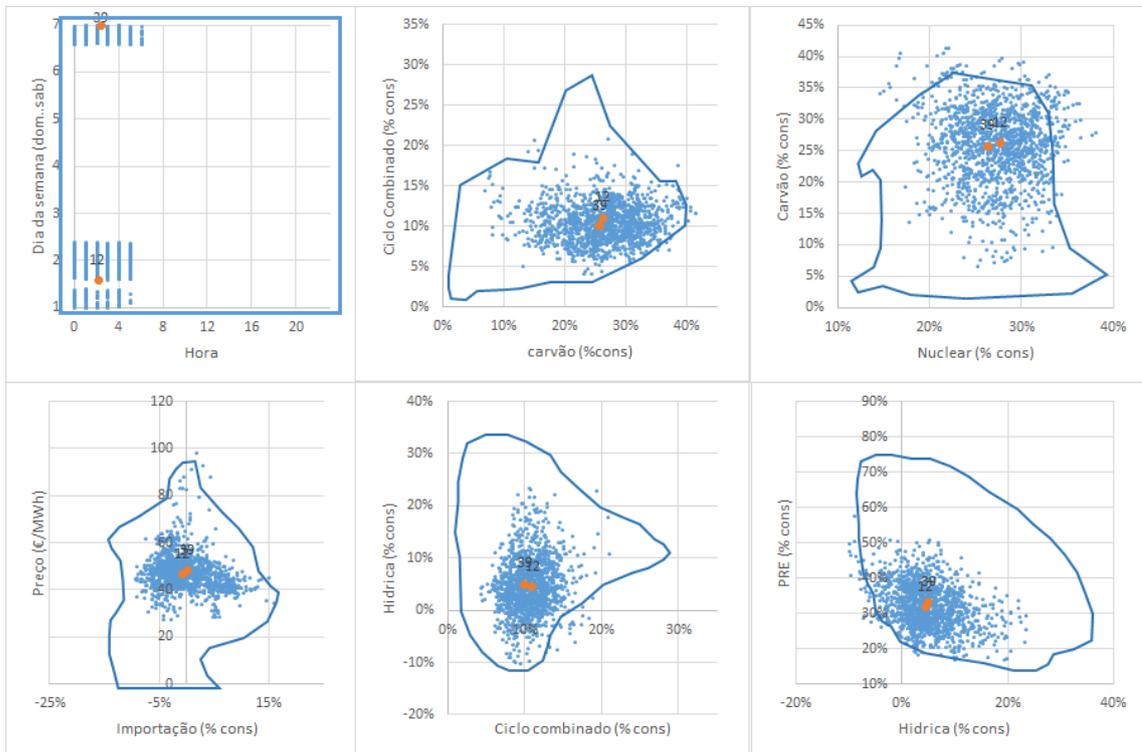


Figura B.5: Clusters 12 e 39 no estudo de 50 clusters para Espanha.

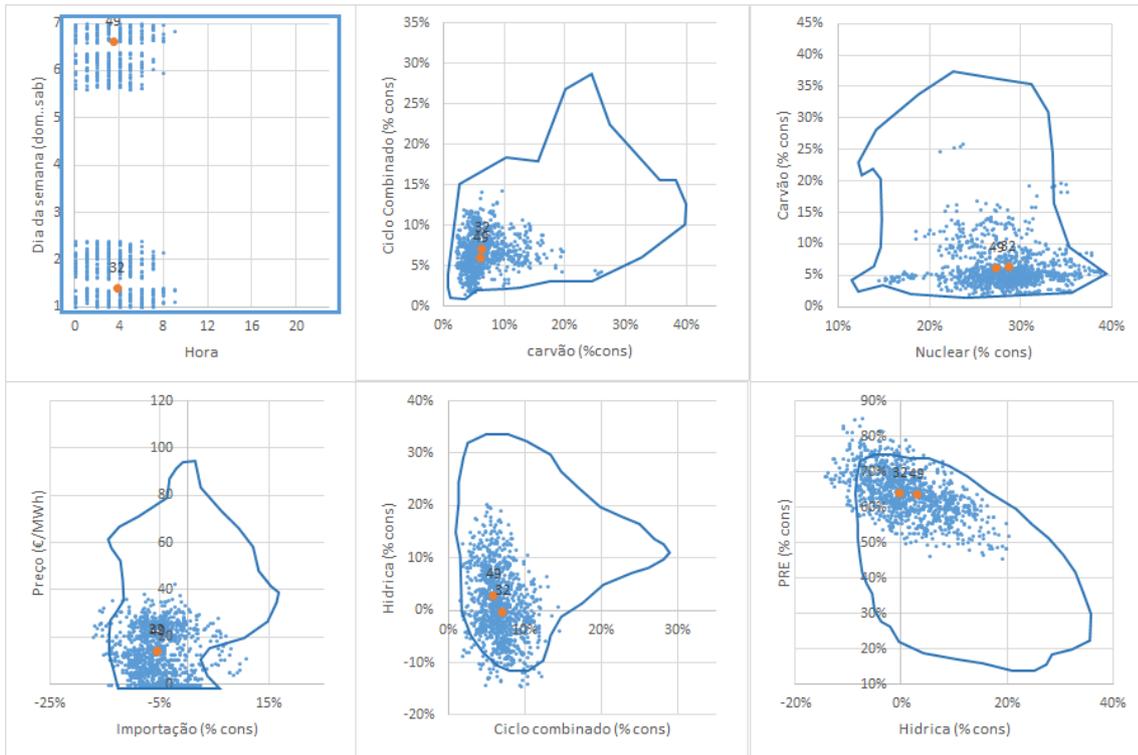


Figura B.6: Clusters 32 e 49 no estudo de 50 clusters para Espanha.

### B.1.3 Península Ibérica

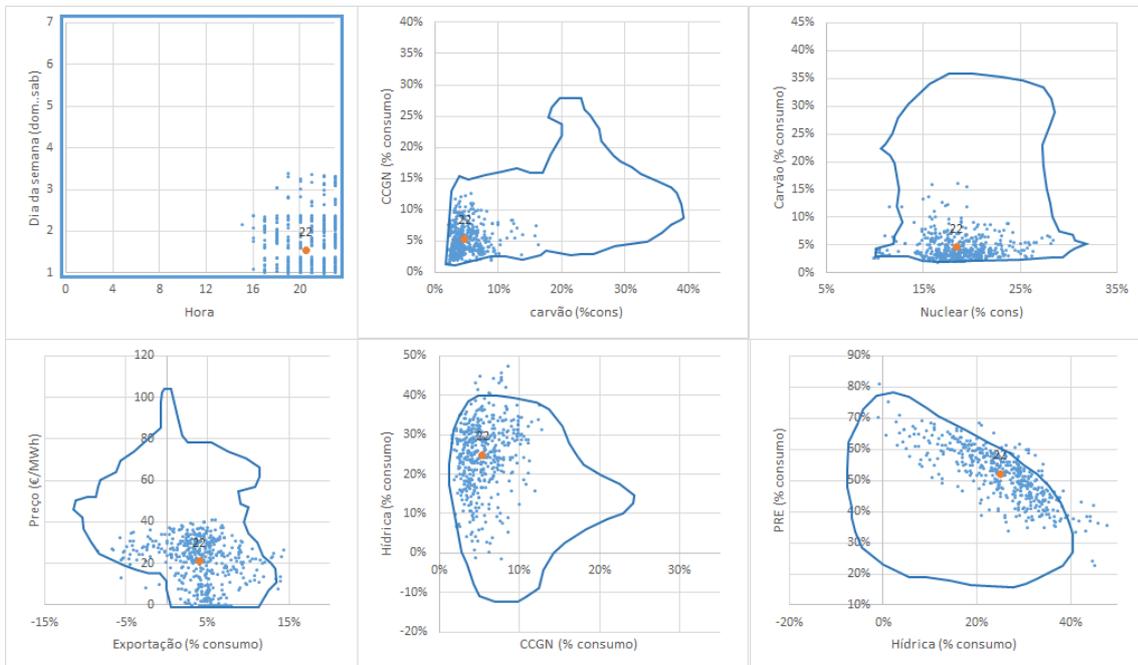


Figura B.7: Cluster 22 no estudo de 50 clusters para a Península Ibérica.

B.1 Gráficos para suporte à metodologia de clustering e à caracterização de padrões no capítulo 9.

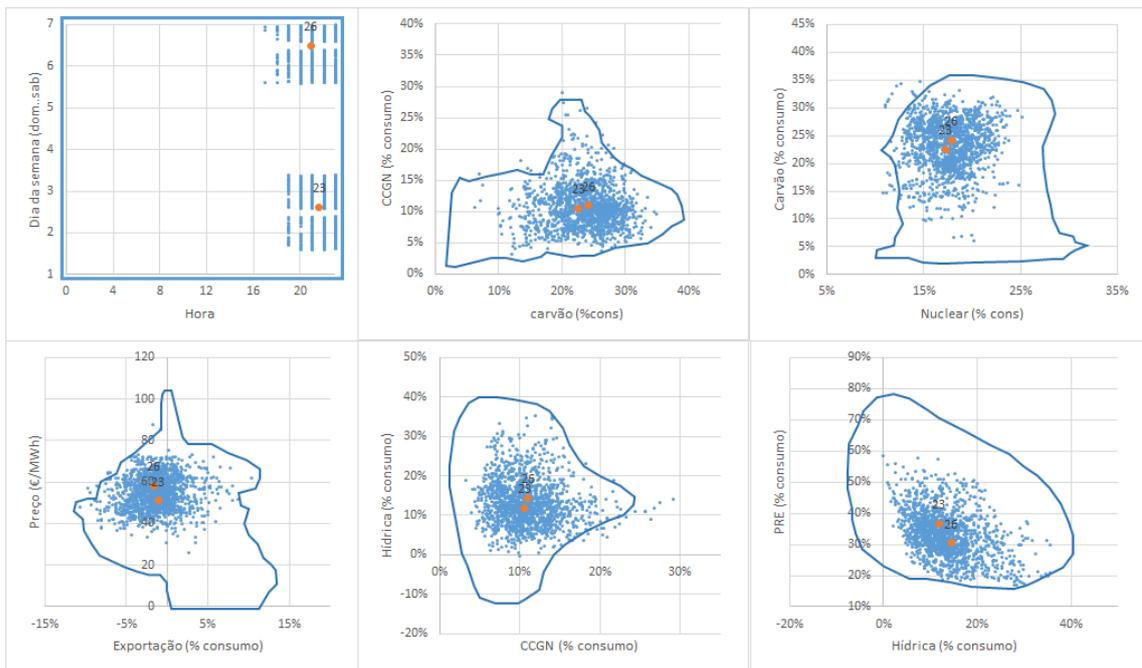


Figura B.8: Cluster 22 no estudo de 50 clusters para a Península Ibérica.