

Américo Jorge de Sousa Marques

Análise estatística do preço da
energia elétrica em mercado livre -
Uma aplicação ao caso português

Instituto Superior de Engenharia do Porto
21 de Novembro 2014

Américo Jorge de Sousa Marques

Análise estatística do preço da
energia elétrica em mercado livre -
Uma aplicação ao caso português

Relatório de Estágio

Mestrado em Matemática Aplicada à Engenharia e às Finanças

Instituto Superior de Engenharia do Porto
21 de Novembro 2014

Agradecimentos

O meu agradecimento a todos os professores com quem tive sorte de aprender durante o meu percurso académico, especialmente nos últimos dois anos, e em particular ao Prof. José Matos. Ao Prof. Carlos Freitas, pelas linhas orientadoras em fase muito embrionária deste trabalho.

Uma palavra de apreço aos meus colegas de curso, Carla, Daniel, Guillaume, Grécia, Miguel, Nuno, Ricardo e Vasco pelo prazer que foi aprender ao vosso lado e pela ajuda na superação das dificuldades sentidas.

À EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A., na pessoa do Sr. Eng. Virgílio Mendes que coorientou este trabalho, a oportunidade concedida de realização deste estágio e aos seus colaboradores, Eng.º José Carlos Sousa e Dra. Maria João Tavares, pela sua disponibilidade, apoio e transmissão de conhecimentos.

À minha orientadora, Prof.^a Sandra Faria Ramos, os meus mais profundos agradecimentos pela sabedoria partilhada, orientação, rigor e exigência, mas também pelo apoio incondicional e encorajamento recebidos ao longo deste trabalho.

Um Obrigado especial à minha família pela ausência prolongada que se viram forçados e pelos projetos que foram adiados pela dedicação a este trabalho.

A todos um grande e sentido Obrigado!

Américo Jorge Marques

Resumo

Neste relatório apresentam-se resultados de um estudo estatístico que procura contribuir para um melhor entendimento da problemática inerente à liberalização do setor elétrico em Portugal e dos desafios que esta liberalização, existente desde meados de 2007, trás aos seus intervenientes.

Iniciam-se os trabalhos com um estudo que pretende avaliar a existência de relação entre o Preço de Mercado da eletricidade e um conjunto de variáveis potencialmente explicativas/condicionantes do Preço de Mercado. Neste estudo consideram-se duas abordagens. A primeira usa a função de correlação cruzada para avaliar a existência de relação do tipo linear entre pares de variáveis. A segunda considera o teste causalidade de Granger na avaliação de uma relação de causa e efeito entre esses pares.

Este estudo avaliou a relação entre o Preço de Mercado da eletricidade e 19 variáveis ditas condicionantes distribuídas por três categorias distintas (consumo e produção de eletricidade; indicadores climáticos; e energias primárias). O intervalo de tempo em estudo cinge-se ao biénio 2012-2103. Durante este período avaliam-se as relações entre as variáveis em diversos sub-períodos de tempo em ciclos de consumo representativos do consumo em baixa (fim de semana) e de consumo mais elevado (fora de vazio) com os valores observados de cada uma das variáveis tratados com uma base horária e diária (média).

Os resultados obtidos mostram a existência relação linear entre algumas das variáveis em estudo e o preço da eletricidade em regime de mercado liberalizado, mas raramente é possível identificar precedência temporal entre as variáveis.

Considerando os resultados da análise de correlação e causalidade, apresenta-se ainda um modelo de previsão do Preço de Mercado para o curto e médio prazo em horas de período fora de vazio.

Palavras-Chave: Correlação · Causalidade · MIBEL · Preço da eletricidade

Abstract

Within this report, results of a statistical study are presented, which seek to contribute to a better understanding of the inherent problems existing since mid-2007 regarding the liberalization of the electrical sector in Portugal and the challenges that this liberalization has brought its stakeholders.

To begin the report, a study was performed with the aim of evaluating the existence of a relationship between the Price of Electricity and a set of potentially explanatory variables/constraints of the electricity price. In this study two approaches were considered. The first uses the cross-correlation method to evaluate the existence of the linear type relationship between variable pairs. The second considers the Granger causality test in the assessment of a cause-effect relationship between these pairs.

This study evaluated the relationship between the Market Price of electricity and 19 variables stated constraints distributed into three distinct categories (electricity consumption and production, climate indicators, and primary energy). The time interval under study was confined to the biennium 2012-2103. During this period, the relationship between variables were evaluated in different sub-periods of time in cycles representative of low consumer consumption (weekend) and higher consumption (peak time) with each of the variables values observed treated on an hourly and daily basis (the average).

The results show the existence of a linear relationship between some of the variables under study and the price of electricity under a liberalized market, but it is rarely possible to identify temporal precedence between variables.

Considering the results of the correlation and causality analysis, a forecasting model for the Market Price is presented for the short medium term for hour of peak time period.

Keywords: Correlation · Causality · MIBEL · Electricity Price

Glossário

Unidades

watt	Unidade de potência SI
KV	Kilovolts (1000 volts)
kW.h, MW.h	kilowatt hora, megawatt hora = 1000 kW.h
°C	Graus Celsius
mm	Milímetro
m/s, km/h	Metro por segundo = 3,6 km/h - Unidade SI para a velocidade
bbbl	Barril (unidade) Petróleo $\approx 159,11$ l
kg, t	quilograma, tonelada = 1000kg

Lista de Acrónimos

AIC: Critério de Informação e Akaike. - *Akaike's Information Criterion*

EQM: Erro Quadrático Médio.

MIBEL: Mercado Ibérico de Eletricidade.

OMI: Operador de Mercado Ibérico.

OMIE: Operador de Mercado Ibérico - Polo Espanhol.

OMIP: Operador de Mercado Ibérico - Polo Português.

PRE: Produtor em Regime Especial.

PRO: Produtor em Regime Ordinário.

REE: Rede Elétrica de Espanha.

REN: Rede Elétrica Nacional.

SBIC: Critério de Informação de Schwarz - *Schwarz (Bayesian) information criterion*.

SMAPE: Erro Absoluto Médio Percentual Simétrico - *Symmetric Mean Absolute Percent Error*.

TSO: Operador de Serviços de Sistema (*Transmission System Operator*)

UE: União Europeia.

Lista de variáveis

P_m	Preço de Mercado da Eletricidade [EUR/MW.h].
C	Consumo de eletricidade em Portugal [MW.h].
Prd_C	Quantidade de eletricidade produzida por centrais térmicas a Carvão [MW.h].
Prd_{CCGN}	Quantidade de eletricidade produzida por centrais térmicas de Ciclo Combinado a Gás Natural [MW.h].
Prd_{ALB}	Quantidade de eletricidade produzida por centrais Hídricas tipo Albufeira [MW.h].
Prd_{Fio}	Quantidade de eletricidade produzida por centrais Hídricas tipo Fio de Água [MW.h].
I	Quantidade de eletricidade importada no sentido Portugal - Espanha [MW.h].
Prd_{PREH}	Quantidade de eletricidade produzida em regime especial - Hídrica [MW.h].
Prd_{PRET}	Quantidade de eletricidade produzida em regime especial - Térmica [MW.h].
Prd_{PREE}	Quantidade de eletricidade produzida em regime especial - Eólica [MW.h].
Prd_{PREF}	Quantidade de eletricidade produzida em regime especial - Fotovoltaica [MW.h].
T_{min}	Temperatura mínima do ar.
T_{med}	Temperatura média do ar.
T_{max}	Temperatura máxima do ar.
R	Precipitação total.
v_V	Velocidade média do vento.
C_{Brent}	Cotação do preço referência do crude para a Europa.
C_{FO}	Cotação fuelóleo de referência no Noroeste da Europa com 1% de enxofre.
C_{GN}	Cotação Gás Natural do hub holandês <i>Title Transfer Facility</i> (TTF).
C_{API2}	Cotação do carvão importado com entrega no Noroeste da Europa e poder calorífico de 6000 kcal/kg.

Nomenclatura Especial

${}_{[r]}^S X^{(z)}$

X representa a variável em análise.

$z = 0, 1, 2 \longrightarrow$ Número de diferenciações. Se $z = 0$ significa dados originais; $z = 1$ Série diferenciada uma vez.

$S \in \{DU, FS, V, \bar{V}\} \longrightarrow$ Ciclo de consumo considerado. $S = DU$ Dados relativos aos dias úteis; $S = FS$ Dados relativos aos dias fim de semana; $S = V$ Dados relativos ao ciclo de consumo em vazio. $S = \bar{V}$ Dados relativos ao ciclo de consumo em fora vazio.

$r \in \{h, d, s, m\} \longrightarrow$ Representa o tipo dados em análise: $r = h$ Valores horários da variável; $r = d$ Valores médios diários; $r = s$ Valores médios semanais; $r = m$ Valores médios mensais;

Exemplo: ${}_{[h]}^{DU} P^{(1)}$ Representa os valores horários em dia útil da série da variável Preço de Mercado em Portugal diferenciada uma vez.

Conteúdo

Resumo	5
Abstract	7
Glossário	9
Lista de Tabelas	16
Lista de Figuras	20
1 MIBEL, Variáveis e Dados - algumas considerações	23
1.1 Mercado Ibérico de Eletricidade	23
1.1.1 Enquadramento Histórico-Legal	23
1.1.2 Modalidades de Contratação	24
1.1.3 Operador de Mercado Ibérico	24
1.1.3.1 OMIE	25
1.1.3.2 OMIP	26
1.1.4 Mercados de Serviços de Sistema	27
1.2 Variáveis e Dados	28
1.2.1 Variáveis	28
1.2.2 Dados	29
1.2.2.1 Pré-Tratamento de Dados	29
1.2.3 Estatísticas Descritivas	29

2	Conceitos Fundamentais	33
2.1	Estacionariedade	33
2.2	Função de Correlação Cruzada	39
2.3	Causalidade	40
2.3.1	Teste de Causalidade de Granger	40
2.4	Métodos de Previsão	43
2.4.1	Métodos Estatísticos - <i>ARX</i>	43
3	Resultados	45
3.1	Metodologia	45
3.2	Avaliação de pressupostos	46
3.3	Correlação	48
3.3.1	Resumo de resultados	64
3.4	Causalidade	65
3.5	Previsão	69
4	Conclusões	79
A	Variáveis	83
B	Estações de Recolha de Dados Climatéricos	91
C	Teste de Raiz Unitária - PP <i>test</i>	93
D	Resultados Raízes Unitárias	95
E	Resultados CCF	99
F	Teste de Causalidade - Resultados	125
G	Coeficientes do modelo $ARX(p, q_1, \dots, q_k)$	129
	Referências	131

Lista de Tabelas

1.1	Algumas estatísticas dos dados em estudo para o intervalo de tempo considerado. Unidades de acordo com o descrito no Quadro 1.1.	32
2.1	Valores de autocorrelação para as séries X e Y	37
3.1	Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Produção Térmica tipo Carvão [2012-2013].	51
3.2	Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado, a Produção Hídrica (em regime especial e ordinário) e a Produção Fotovoltaica.	54
3.3	Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Produção Térmica em regime ordinário do tipo Carvão e do tipo Ciclo Combinado a Gás Natural.	56
3.4	Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a produção em regime especial por tipo de tecnologia.	58
3.5	Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Temperatura do ar em Portugal.	61
3.6	Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores horários das séries estudadas.	66
3.7	Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios diários das séries estudadas.	68
3.8	Modelos $ARX(p, q_1, \dots, q_k)$ com $p, q_k = 1, 2, \dots, 5$	70
3.9	Erro Percentual Absoluto Médio Simétrico (SMAPE) e Erro Quadrático Médio (EQM) para a hora seguinte do preço de mercado da eletricidade em Portugal para os anos 2012 e 2013. Conjunto de validação representa 30% da amostra estudada.	73
3.10	Resultados da previsão com o Modelo E_2 com um horizonte de k períodos para o conjunto de validação.	77

D.1	Resultados do teste de raízes unitárias	95
E.1	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Carvão e CCGN.	99
E.2	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Importação e PRE Hidráulica.	103
E.3	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Albufeira e Fio de Água.	107
E.4	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis PRE Térmico e PRE Eólica.	111
E.5	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis PRE Fotovoltaica e Consumo.	115
E.6	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Brent e Gás Natural.	119
E.7	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis FO e API2.	120
E.8	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Temperatura Média e Temperatura Máxima	120
E.9	Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Velocidade média do Vento e Precipitação.	122
F.1	Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios semanais das séries estudadas.	125
F.2	Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios mensais das séries estudadas.	126
G.1	Erro Quadrático Médio e Erro Percentual Absoluto Médio Simétrico para a previsão do preço da eletricidade para a hora seguinte. Melhores resultados em destaque.	130

Lista de Figuras

1.1	Curva agregada das propostas de compra e venda de energia elétrica típica de um mercado <i>Pool</i> simétrico. Linha a negrito representa as ofertas de venda por parte dos produtores do par preço/quantidade. Linha de traço contínuo representa as ofertas de compras dos vários agentes a mercado. Linha com traço interrompido define o Preço de Encontro do mercado com a respectiva quantidade negociada. Fonte: Adaptado [12]	25
1.2	Preço médio Diário MIBEL desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013.	30
1.3	Valores horários do Preço de Mercado em Portugal dos anos 2012 e 2013. Valores mais elevados são observados frequentemente durante o período de normal atividade económica	31
2.1	Representação gráfica de duas séries autorregressivas simples (AR(1)). Série com traço interrompido $X_t = 0,05 + 0,95X_{t-1} + \epsilon_t$. Série traço contínuo $Y_t = 0,05 + Y_{t-1} + \epsilon_t$. Ambas foram geradas considerando $\sigma^2 = 0,4$. Fonte: Adaptado [6].	34
2.2	Correlograma da série $Y_t = 0,05 + Y_{t-1} + \epsilon_t$ apresentada na Figura 2.1. Linhas a azul representam o intervalo de confiança a 95% para ruído branco ($\pm 1,96\sqrt{n}$) uma vez que $\epsilon_t \stackrel{A}{\sim} N(0, 1/N)$ e 1,96 é o quantil 0,975 da distribuição normal.	36
2.3	Função de correlação cruzada para as séries X e X^* . Linhas a azul representam o intervalo de confiança a 95% para ruído branco ($\pm 1,96\sqrt{n}$) uma vez que $\epsilon_t \stackrel{A}{\sim} N(0, 1/N)$ e 1,96 é o quantil 0,975 da distribuição normal.	41
3.1	Preço Médio Diário MIBEL desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013. Série com 731 valores observados válidos. Média do período é 45,86 €/MWh (DP= 13,89). Períodos assinalados exemplificam o tipo de análise realizada à variável de interesse.	46

3.2	Preço de Mercado MIBEL para duas semanas de 2012. Semana de Inverno [2 a 8 de janeiro - semana 1]. Semana de verão [2 a 8 de julho - semana 27]. Ciclos diário e semanal são perceptíveis no comportamento do Preço de Mercado.	47
3.3	Velocidade do Vento de 2012-2013 (a); Correlograma (b). Remoção do valores em falta. Série com 724 valores válidos.	49
3.4	Precipitação observada 2012-2013 (a); Correlograma da série Precipitação (b). Remoção do valores em falta. Série com 724 valores válidos.	50
3.5	Preço de Mercado da Energia elétrica em Portugal desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013. Área em destaque corresponde ao período compreendido entre 01/out/2012 e 31/mai/2013.	53
3.6	Preço médio diário da energia elétrica em mercado livre (a). Consumo médio diário em Portugal (b). Zonas em destaque correspondem ao período de Verão de 2012 [1/abr/2012 - 31/10/2012] e do Verão de 2013 [25/03/2013 - 11/10/2013].	59
3.7	<i>Mix</i> produção Hídrica em regime especial e ordinário. Valores médios diários de 95 dias compreendidos entre 9/02/2013 e 14/05/2013. Consumo médio diário de 5584,54 MWh ($DP = 548,88$). Produção Hídrica representa cerca de 49% do consumo médio neste intervalo	62
3.8	Evolução da cotação do Brent em 2013. Valores de fecho diários de 261 valores válidos observados. Zona a sombreado representa o intervalo entre 17/04/2013 e 06/09/2013 que representa, respectivamente a cotação mínima (74,64€/bbl) e o máximo (90,80€/bbl).	63
3.9	Evolução da cotação do Carvão API2 em 2013. A traço contínuo o intervalo de tempo compreendido entre 01/01/2013 a 18/06/2013 com clara tendência de queda. A traço interrompido intervalo de 19/12/2013 com inversão de tendência	64
3.10	coeficiente de correlação cruzada da variável de interesse e o Consumo em Portugal em ciclo diário fora de vazio, para o período considerado como inverno [1/11/2012 - 31/05/2013]	74
3.11	Preço de mercado horário em ciclo diário fora de vazio. Linha de traço contínuo representa os valores reais no período 2012-2013. Linha a traço interrompido representa o valor estimado pelo Modelo E_2 para o conjunto de validação - SMAPE = 2,61%	75
3.12	Erro médio absoluto percentual simétrico diário do conjunto de validação do modelo E_2 . Dias úteis de 5/jun/2013 a 31/dez/2013.	76

3.13	Comportamento do modelo no mês de novembro de 2013 (dSMAPE = 3, 23%) (a); Comportamento do modelo no mês de dezembro de 2013 (dSMAPE = 5, 12%) (b). Preço de mercado horário em ciclo diário fora de vazio. Linha de traço contínuo representa os valores reais; linha a traço interrompido representa o valor estimado pelo Modelo E ₁ para o conjunto de validação.	77
3.14	Previsão para o dia seguinte e para a semana seguinte com o Modelo E ₂	78
3.15	Erro médio absoluto percentual simétrico semanal do conjunto de validação do modelo E ₂ . 30 últimas semanas de 2013.	78
A.1	Evolução $[_d]P_m^{(0)}$ em Portugal para o período 2012-2013 (a); Correlograma da $[_d]P_m^{(0)}$ (b).	83
A.2	Evolução $[_d]C^{(0)}$ em Portugal no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]C^{(0)}$ (b).	83
A.3	Evolução da $[_d]Prd_C^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_C^{(0)}$ (b).	84
A.4	Evolução $[_d]Prd_{CCGN}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{CCGN}^{(0)}$ (b).	84
A.5	Evolução $[_d]Prd_{Alb}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{Alb}^{(0)}$ (b).	84
A.6	Evolução $[_d]Prd_{Fag}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{Fag}^{(0)}$ (b).	85
A.7	Evolução $[_d]I^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]I^{(0)}$ (b).	85
A.8	Evolução $[_d]Prd_{PREH}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{PREH}^{(0)}$ (b).	85
A.9	Evolução $[_d]Prd_{PRET}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{PRET}^{(0)}$ (b).	86
A.10	Evolução $[_d]Prd_{PREE}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{PREE}^{(0)}$ (b).	86
A.11	Evolução $[_d]T_{med}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]T_{med}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.	86
A.12	Evolução $[_d]T_{max}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]T_{max}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.	87
A.13	Evolução $[_d]T_{min}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]T_{min}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.	87
A.14	Evolução $[_d]v_V^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]v_V^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.	87

A.15	Evolução $[_d]R^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]R^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.	88
A.16	Evolução $[_d]C_{Brent}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma $[_d]C_{Brent}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos	88
A.17	Evolução $[_d]C_{FO}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma $[_d]C_{FO}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.	88
A.18	Evolução $[_d]C_{GN}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma $[_d]C_{GN}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.	89
A.19	Evolução $[_d]C_{API2}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma $[_d]C_{API2}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.	89

Nota Introdutória

A reestruturação dos últimos anos, e conseqüente aumento da competitividade, no sector elétrico impôs aos seus intervenientes novos desafios. Ponto essencial, em qualquer sector de atividade é, sem dúvida, a informação. A validade dessa informação, em posse dos vários intervenientes num mercado concorrencial, poderá significar uma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes.

Portugal e Espanha têm, desde 1 de julho de 2007, um mercado único de comercialização de energia elétrica em regime de mercado livre (Mercado Ibérico de Eletricidade - MIBEL). Neste cenário, o estudo do comportamento do preço de mercado, a identificação das suas principais condicionantes e a análise da forma como estas condicionantes se relacionam com o preço são questões ainda em aberto, sendo o conhecimento das respostas a estas questões muito relevante na tomada diária de decisões e/ou na definição de estratégias de curto, médio e longo prazo. Note-se que a incerteza associada ao preço do bem comercializado renova os desafios de gestão aos decisores para a manutenção das taxas de rentabilidade. A previsão de curto prazo do preço da energia elétrica em mercado livre é condicionada pela especificidade do bem transacionado, uma vez que este é produzido ao mesmo tempo que é consumido, sendo o seu preço determinado hora a hora, 24 horas por dia, sete dias por semana [9].

O processo de criação e construção do MIBEL está integrado num plano mais auspicioso de integração plena dos Estados-Membros da União Europeia num Mercado Interno de Eletricidade. Está, atualmente, inserido no Mercado Regional da Eletricidade do Sudoeste da Europa, do qual participa, além de Portugal e Espanha, a França. O MIBEL encontra-se dividido em dois polos (um sediado em Portugal e outro em Espanha) dos quais fazem parte um conjunto de entidades responsáveis pela sua gestão e operação de acordo com as regras definidas pelos dois países. O Capítulo 1 deste relatório apresenta informação mais detalhada sobre a evolução, funcionamento e operação do mercado ibérico de eletricidade.

O tema alvo de análise, proposto pela entidade que acolhe este estágio - EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A., surge no seguimento de trabalhos anteriormente realizados para o departamento de Regulação e Mercados - Estudos e Gestão de Energia da EDP desde o início de operação do MIBEL, e procura contribuir para um melhor entendimento da problemática inerente à liberalização do setor elétrico em Portugal.

Neste sentido, apresenta-se neste relatório um estudo estatístico que tem como objetivo a identificação das principais condicionantes do Preço de Mercado em Portugal. O estudo levado a cabo considera, por um lado, métodos de avaliação de existência de correlação linear e, por outro lado, técnicas de avaliação de causalidade. A utilização das duas técnicas aqui identificadas, deve-se ao facto de que a existência de correlação forte não implica, necessariamente, uma relação de causa e efeito entre as variáveis. Poderá não existir uma relação direta de causa e efeito entre duas variáveis, mas sim a existência de uma variável comum a influenciá-las¹. Aproveitando os resultados da análise de correlação, e em complemento ao objectivo principal proposto para este estágio, apresenta-se, ainda, um modelo de previsão baseado em modelos ditos estatísticos.

Além desta nota introdutória, este relatório é composto por mais quatro capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1: Descreve o funcionamento do Mercado Ibérico de Eletricidade fazendo a descrição da sua evolução, dos tipos de mercado existentes, da sua operação e das entidades responsáveis por esses mercados;

Apresenta as variáveis selecionadas para o estudo das condicionantes do Preço de Mercado entre um conjunto de variáveis potencialmente explicativas. Ainda neste capítulo, apresentam-se os dados que sustentam este relatório com a apresentação de algumas estatísticas relativas aos mesmos.

Capítulo 2: Descreve as principais técnicas matemáticas de avaliação de existência de correlação e análise de causalidade utilizadas neste trabalho. Não se pretende, de modo algum, a descrição completa ou exaustiva destas técnicas, mas apenas referir os aspectos fundamentais. Este capítulo apresenta ainda a metodologia selecionada para a realização da previsão do Preço de Mercado.

Capítulo 3: Descreve a metodologia adotada para avaliação da variável em estudo tendo em consideração diversos cenários. Apresenta os resultados obtidos pela aplicação das técnicas utilizadas de avaliação de correlação e causalidade em função da metodologia aplicada. Apresenta, ainda, os resultados obtidos por aplicação do modelo de previsão.

Capítulo 4: Capítulo reservado às conclusões e considerações finais. Apresenta, também, as perspectivas de trabalho futuro.

¹Veja-se, por exemplo, Murteira (2010): o número de casos de desidratação e a produção agrícola apresentam correlação positiva não havendo, contudo, relação direta entre estas duas variáveis. Existe, no entanto, um fator comum a influenciá-las - a temperatura atmosférica.

Capítulo 1

MIBEL, Variáveis e Dados - algumas considerações

Este capítulo apresenta uma descrição do funcionamento global do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) e o seu enquadramento histórico e legal com vista à integração plena no Mercado Interno de Eletricidade, com participação dos Estados-Membros da União Europeia (UE). Descreve, ainda, as variáveis estudadas apresentando uma análise descritiva dos dados resultantes da sua observação.

1.1 Mercado Ibérico de Eletricidade

1.1.1 Enquadramento Histórico-Legal

O MIBEL, na sua forma de atuação atual, é resultado de um longo processo regulatório entre os dois países intervenientes. Teve por base a Diretiva 96/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de dezembro de 1996 que estabelece as regras comuns para um mercado interno da eletricidade [17] no que respeita à regulação da produção, transporte e distribuição de energia elétrica [1]. O objetivo principal desta diretiva é a criação, não de mercados liberalizados de eletricidade em cada país da UE, mas sim, de um mercado comum a todos os países com base no conceito que um mercado interno é um espaço sem fronteiras e se sustenta na garantia da livre circulação de pessoas, bens/mercadorias, serviços e capitais [17][19].

A Diretiva¹ obriga os Estados-Membros ao fim do monopólio na produção, à criação de um operador de rede de transporte independente, que aja de forma não discriminatória em relação aos utilizadores, ou categorias de utilizadores (nº 1 e nº 5 do artigo 5º), no transporte e distribuição, permitindo o acesso de produtores independentes às

¹Para maior detalhe veja-se Bergman *et all* (1999) que descreve resumidamente a Diretiva 96/92/CE (cap. 5 [pp.77-86]).

redes para fornecimento dos consumidores finais [1]. Atualmente em vigor está a Diretiva 2009/72/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 13 de julho de 2009 (que estabelece regras comuns para o mercado interno da eletricidade e que revoga a Diretiva 2003/54/CE), parte integrante do Terceiro Pacote Legislativo do Mercado Interno de Energia. Decorreram, portanto, cerca de 15 anos desde da entrada em vigor da primeira diretiva comunitária e a liberalização do setor continua com o objetivo de alargar os mercados além fronteiras nacionais [14].

No seguimento do segundo pacote legislativo (2003-2009), que impõe aos Estados-Membros datas para cumprimento das diretivas comunitárias com a transposição para as respetivas legislações nacionais, Portugal aprova a criação do MIBEL com Resolução da Assembleia da República nº 33-A/2004 no seguimento do Acordo² entre a República Portuguesa e o Reino de Espanha para a constituição de um Mercado Ibérico da Energia Eléctrica, assinado em Lisboa a 20 de janeiro de 2004, definindo a sua entrada em funcionamento a 20 de abril de 2004, mas a sua efetivação verifica-se a 1 de julho de 2007.

1.1.2 Modalidades de Contratação

O Artigo 1º da Resolução da Assembleia da República nº 23/2006 define, no seu ponto nº 2, as modalidades de contratação de energia elétrica, enquadrando-as em dois tipos de mercado:

- Mercados organizados
- Mercados não organizados

Exemplo de mercado organizados é um mercado *spot* ou ainda, mercado de derivados. Contratos entre entidades do MIBEL (contratação bilateral), de liquidação física ou por diferenças, são exemplo de um mercado não organizado [16].

1.1.3 Operador de Mercado Ibérico

O acordo assinado entre Portugal e Espanha para a criação do MIBEL previu a criação de um Operador de Mercado Ibérico (OMI) responsável pela gestão dos mercados organizados. Atualmente, o OMI encontra-se dividido em dois polos: (i) Operador de Mercado Ibérico de Energia - Polo Espanhol (OMIE); e (ii) Operador de Mercado Ibérico de Energia - Polo Português (OMIP).

²Aplicado a título provisório entre as Partes desde 22 de abril de 2004. Regime jurídico revisto pela Resolução da Assembleia da República nº 23/2006.

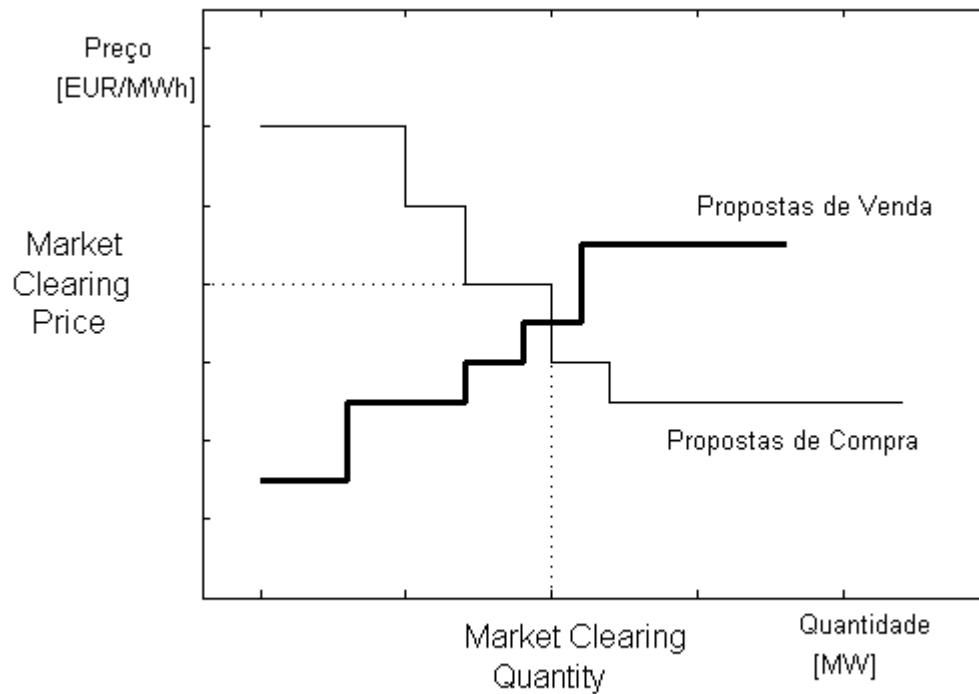


Figura 1.1 Curva agregada das propostas de compra e venda de energia elétrica típica de um mercado *Pool* simétrico. Linha a negrito representa as ofertas de venda por parte dos produtores do par preço/quantidade. Linha de traço contínuo representa as ofertas de compras dos vários agentes a mercado. Linha com traço interrompido define o Preço de Encontro do mercado com a respectiva quantidade negociada. Fonte: Adaptado [12]

1.1.3.1 OMIE

O polo Espanhol do OMI é a entidade responsável pela gestão do mercado *spot* do MIBEL nas suas duas componentes de contratação: diária e intradiária. O mercado diário é do tipo *Day-Ahead-Market* e a responsabilidade do operador de mercado é a gestão das ofertas de compra (procura) e venda (oferta), dos vários participantes a mercado, para cada hora do dia seguinte [1]. Do lado da oferta temos os agentes produtores que fazem proposta de venda de energia elétrica especificando a quantidade e o preço de venda para cada hora do dia seguinte ao da negociação. A procura está acessível aos distribuidores de energia elétrica, aos comercializadores, consumidores qualificados e outros agentes participantes a mercado devidamente autorizados [1][24]. O Operador de Mercado define, para cada hora de negociação, o Preço de Mercado (*Market Clearing Price*) e Quantidade de Energia associada (*Market Clearing Quantity*), através da intersecção das curvas agregadas de ofertas de compra e venda de

energia elétrica³. A Figura 1.1 ilustra uma curva tipo da agregação das ofertas do par preço/quantidade dos intervenientes a mercado.

Em complemento ao mercado diário está o mercado intradiário que funciona como mercado de ajustes. Permite aos vários intervenientes a mercado (agentes produtores e comercializadores) adequar as ofertas de compra e venda realizadas no dia anterior dando flexibilidade à operação e, em simultâneo, permitindo a otimização de portefólio dos intervenientes a mercado no decurso de horizontes temporais sucessivos de curto prazo [1][24][2]. Atualmente, desenvolve-se em seis sessões diárias. A primeira, com início às 17:00, abrange um horizonte de programação de 27h com início às 21:00h. A última sessão no mercado intradiário começa às 12:00 e tem como horizonte de programação 9 períodos horários (das 16h às 24h) [24].

Sendo o MIBEL composto por dois países, o pleno funcionamento de um mercado único está condicionado pela capacidade de interligação existente entre eles. A gestão dessa interligação está a cargo dos operadores de sistema⁴ que têm a responsabilidade de garantir o não congestionamento da rede de transporte de energia elétrica [2]. Atualmente, existem nove linhas de interligação Portugal-Espanha distribuídas por dois níveis: 220 kV (três) e 400 kV (seis). A entrada em serviço da linha Tavira-P. Guzmán, já durante o ano de 2014, permite uma capacidade máxima de 3000 MW no sentido Portugal→Espanha [26]. Sempre que a capacidade de interligação é excedida temos uma separação de mercados (*market splitting*) e o preço de encontro de mercado (ver Figura 1.1) é determinado separadamente pelas ofertas de compra e venda dos agentes de cada país.

1.1.3.2 OMIP

O polo Português do OMI é a entidade responsável pela gestão do mercado de derivados do MIBEL onde o ativo subjacente é o bem transacionado pelo MIBEL - preço do mercado *spot* para a área espanhola do MIBEL (SPEL); o preço do mercado *spot* do mercado português (PTEL). Nesta entidade são negociados: (i) contratos de Futuros; (ii) contratos *Forward*; e (iii) *Swap* [25].

(i) Contratos Futuro

Contrato, com volume nominal e notação de preço, de compra ou venda de energia para um determinado horizonte temporal⁵ onde comprador e vendedor se comprometem a

³O MIBEL é modelo de mercado *pool* simétrico. A determinação do Preço e da Quantidade de Mercado é determinada pela curva agregada das ofertas a mercado. A curva agregada de compra e venda é determinada pelo operador de mercado que ordena as ofertas de venda por ordem crescente de preço e as ordens de compra por ordem decrescente de preço.

⁴**Transmission System Operator (TSO)** - Os operadores de sistema são, do lado português, a REN e, do lado espanhol, a REE. Na presença do fenómeno de *market splitting* estas duas entidades resolvem os problemas de congestionamento através de Ações Coordenadas de Balanço [2]

⁵O horizonte temporal previsto para os contratos de futuros é diário, semanal, mensal, trimestral e anual [25].

efetivar a transação no fim do contrato havendo liquidações diárias entre o preço definido e a cotação de mercado (a futuro) de cada dia [20].

(ii) Contratos *Forward*

Ao invés do anterior, não existe liquidação diária entre o preço de definido e a cotação de mercado (a futuro) de cada dia. Esta liquidação acontece na entrega física ou financeira [20].

(ii) Contratos *Swap*

Contrato em que se troca uma posição em preço variável por uma posição de preço fixo, ou vice-versa, dependendo do sentido da troca. Permite a gestão do risco financeiro por parte dos agentes não existindo entrega do ativo subjacente mas apenas a liquidação das margens correspondentes [20].

1.1.4 Mercados de Serviços de Sistema

Em paralelo com o mercado diário e intradiário, opera o Mercado de Serviços de Sistema⁶. Este mercado é da responsabilidade do Operador de Rede de Transporte, na qualidade de Gestor do Sistema, e tem como principal objectivo a manutenção da integridade do sistema elétrico mantendo, em simultâneo, o equilíbrio permanente entre a produção e o consumo [2][4]. Encontra-se dividido em serviços obrigatórios (não remunerados) e complementares (remunerados). Dentro dos serviços complementares, a regulação secundária e a reserva de regulação são remunerados sob a forma de mercado competitivo sendo que, adicionalmente, existe um processo de resolução das restrições técnicas assente em mecanismo de mercado.

⁶Por não estar no âmbito deste estudo a apenas se apresentam características muito superficiais acerca deste mercado. Para maior detalhe veja-se [2].

1.2 Variáveis e Dados

As secções seguintes apresentam a descrição das variáveis consideradas potencialmente

1.2.1 Variáveis

Em estudo neste trabalho estão um total de 19 variáveis que se podem agrupar da seguinte forma: (i) Consumo e Produção, onde, para além do consumo de energia elétrica verificado em Portugal, está, também, a energia produzida de acordo com as diversas tecnologias presentes a mercado; (ii) Clima, onde consideramos a temperatura (mínima, média e máxima), a precipitação e a velocidade do vento; e (iii) Energias Primárias, do qual fazem parte as cotações de referência para a Europa do Petróleo, Fuelóleo, Gás Natural e do Carvão. O Quadro 1.1 resume as variáveis estudadas.

Grupo	Variável	Tipo de Dados	Unidades	
(i)	Consumo e Produção	Valores horários	[MWh]	
				C
				Prd_C
				Prd_{CCGN}
				Prd_{ALB}
				Prd_{Fio}
				I
				Prd_{PREH}
				Prd_{PRET}
Prd_{PREE}				
Prd_{PREF}				
(ii)	Clima	Média Diária	[°C]	
				T_{min}
				T_{med}
		T_{max}		
		R	Total Diário	[mm]
v_V	Média Diária	[m/s]		
(iii)	Energias Primárias	Cotação Diária de fecho	[EUR/bbl]	
			C_{Brent}	
			C_{FO}	[EUR/t]
			C_{GN}	[EUR/MWh gás]
C_{API2}	[EUR/t]			

Quadro 1.1 Lista de variáveis analisadas e tipo de dados (ver página 10 para descrição das variáveis).

Na secção 1.2.2 apresentam-se algumas considerações sobre as variáveis que se julgam importantes.

1.2.2 Dados

O intervalo de tempo a que este estudo diz respeito é do biénio 2012-2013⁷. Todos os dados utilizados neste estudo são públicos e disponíveis a qualquer interessado. Não obstante, a fiabilidade desses dados foi garantida pela recolha da informação de instituições fidedignas. Os valores observados relativos às variáveis do grupo (i) e o histórico do preço de mercado da eletricidade em Portugal são fornecidos pela entidade que acolhe o estágio, EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A. Os dados relativos ao clima foram fornecidos pelo Sr. Bill Frischling da Canty and Associates LLC [18]. Relativamente às variáveis do grupo (iii) os dados foram recolhidos do Mercado Ibérico de Eletricidade [22]

Os dados utilizados para este estudo são de natureza distintas e, naturalmente, a frequência com que estão disponíveis diferem de variável para variável. Na sua maioria as variáveis apresentam uma frequência horária. Para as restantes os dados são com base diária.

1.2.2.1 Pré-Tratamento de Dados

Os dados das variáveis utilizadas não apresentam, na generalidade, valores inválidos. Foram detetados, no entanto, alguns valores em falta para as variáveis do grupo (ii). A opção foi de retirar os valores em falta das respectivas séries (equivalente a cerca de 10% das séries). Aos dados das variáveis do grupo (iii) não são aplicáveis os dias de fim de semana, uma vez que as praças onde estão cotadas não negociam ao fim de semana.

Os valores das variáveis correspondentes ao grupo (ii) dizem respeito à média de nove estações de recolha de dados climatéricos distribuídas por Portugal⁸ (não se consideram estações de recolha de dados climatéricos de Portugal Insular).

1.2.3 Estatísticas Descritivas

Como já referido anteriormente, o conjunto de variáveis consideradas para este estudo é variado na sua origem e têm comportamentos distintos no intervalo de tempo analisado. A Tabela 1.1 apresenta os valores de algumas medidas sumário dos dados em estudo. No consumo verifica-se um coeficiente de variação mensal de apenas 5,85%, podendo significar que o consumo em Portugal sofre, apenas, oscilações suaves.

⁷Para as variáveis do grupo (iii) apenas se trabalha os dados referentes a 2013 - Quadro 1.1

⁸Para maior detalhe das estações de recolha ver Quadro B.1 no Apêndice B

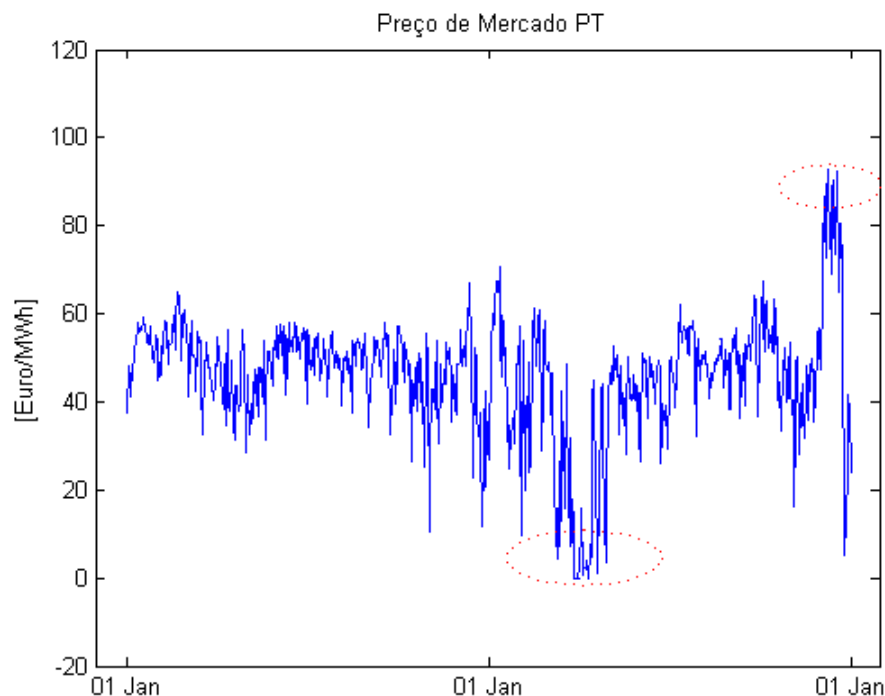


Figura 1.2 Preço médio Diário MIBEL desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013.

Por outro lado, a variável que representa a produção por centrais térmicas de Ciclo Combinado a Gás Natural, apresenta um coeficiente de variação elevado ($\approx 85\%$), que poderá indicar uma grande oscilação na sua produção. De facto, é possível observar, por exemplo, de um mês para o outro, uma subida na produção de 11 vezes (41,17 MWh em novembro de 2013 para 497,15 MWh em dezembro de 2013).

As Figuras 1.2 e 1.3 ilustram a evolução do Preço de Mercado. Uma análise da Figura 1.3 permite perceber que o período onde se verificam os máximos diários são ao final do dia. O valor médio mínimo diário, 0,00 €/MWh, foi verificado em três dias de 2013 (29 e 31 de março e dia 01 de abril de 2013).

Da observação da Figura 1.2 não é possível identificar, de forma clara, uma tendência definida durante intervalo de tempo analisado, mesmo que, evidenciando períodos de grande variabilidade. O coeficiente de variação mensal é de 20,93% e o valor médio diário de 45,86 €/MWh (DP= 13,89). O valor médio diário máximo atingido foi de 92,73 €/MWh em 8 de dezembro de 2013 e o valor hora mais elevado foi dia 7 de dezembro de 2013 na 20.^a hora de negociação, ou seja, no período compreendido entre as 19:00 e as 20:00 horas, mas é na hora seguinte onde se verificam cerca de 23% dos máximos diários, sendo que 60% dos máximos verifica-se das 18:00 às 22:00 horas.

Uma análise à Figura 1.3 permite perceber que o período onde se verificam os máximos diários são ao final do dia. O valor médio mínimo diário, 0,00 €/MWh, foi verificado em três dias de 2013 (29 e 31 de março e dia 1 de abril de 2013).

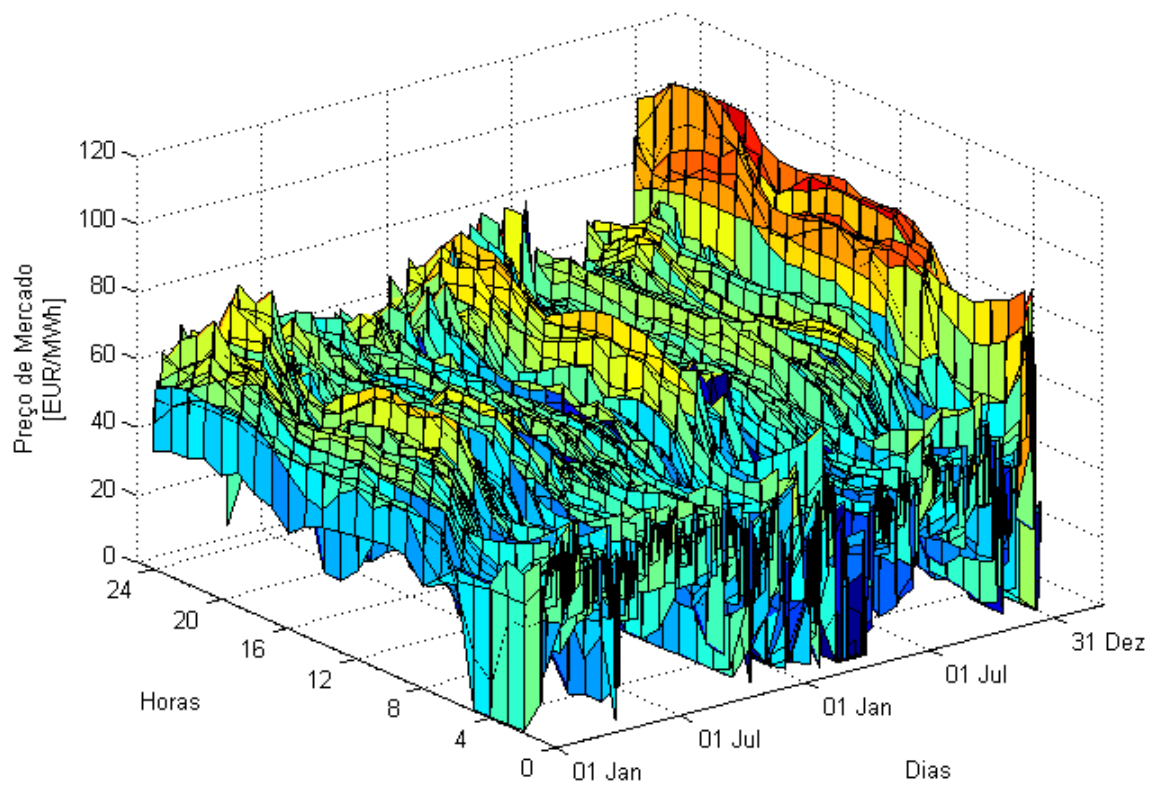


Figura 1.3 Valores horários do Preço de Mercado em Portugal dos anos 2012 e 2013. Valores mais elevados são observados frequentemente durante o período de normal atividade económica

Tabela 1.1 Algumas estatísticas dos dados em estudo para o intervalo de tempo considerado. Unidades de acordo com o descrito no Quadro 1.1.

Variável	Máx	Mín	Média	DP	<i>cv</i>
<i>C</i>	6964,32	4180,14	5589,92	569,41	5,85%
<i>Prd_C</i>	1756,73	148,49	1318,75	422,66	21,31%
<i>Prd_{CCGN}</i>	1743,81	0,00	414,60	443,25	85,73%
<i>Prd_{ALB}</i>	2044,01	59,18	519,73	352,96	58,11%
<i>Prd_{Fio}</i>	2139,10	0,10	571,90	424,76	66,27 %
<i>I</i>	2014,17	0,00	771,03	521,27	49,19%
<i>Prd_{PREH}</i>	357,13	5,50	110,74	101,66	85,61%
<i>Prd_{PRET}</i>	1136,14	637,96	940,94	102,54	4,36%
<i>Prd_{PREE}</i>	3554,81	70,60	1240,32	769,12	28,05%
<i>Prd_{PREF}</i>	66,40	24,57	42,89	12,39	28,83%
<i>T_{min}</i>	22,99	-2,15	10,61	5,66	42,25%
<i>T_{med}</i>	29,54	3,28	15,38	5,66	34,16%
<i>T_{max}</i>	37,09	9,02	20,90	6,76	29,80%
<i>R</i>	165,10	0,00	10,85	24,71	104,19%
<i>v_V</i>	8,85	1,11	2,87	0,90	14,11%
<i>C_{Brent}</i>	87,80	78,37	82,54	3,19	3,74%
<i>C_{FO}</i>	492,32	433,06	457,15	15,57	3,41%
<i>C_{GN}</i>	31,83	25,70	27,10	27,10	7,06%
<i>C_{API2}</i>	67,29	56,87	61,56	3,55	5,86%

Máx -Valor máximo observado na série; **Mín** - Valor mínimo observado; **Média** - valor médio dos valores observados; **DP** - Desvio padrão; *cv* - Coeficiente de variação mensal (valor relativo), com $cv = \frac{\sigma}{x} \cdot 100$

Capítulo 2

Conceitos Fundamentais

Este capítulo apresenta uma breve revisão sobre os princípios e os instrumentos fundamentais que constituem, *gróssò módò*, a base deste trabalho.

Exceptuando casos pontuais, as análises estatísticas de dados segundo uma abordagem paramétrica exigem a verificação de um conjunto de pressupostos. Análises inferenciais sobre o coeficiente de correlação cruzada e a aplicação do teste de causalidade de Granger são exemplos de situações em que tal é a norma. A secção seguinte é dedicada à descrição de um teste estatístico que permite avaliar a estacionariedade de séries temporais – pressuposto exigido para a aplicação das duas técnicas acima referidas.

2.1 Estacionariedade

Uma série temporal considera-se estacionária se esta se desenvolve no tempo de forma aleatória em torno de uma média constante. A Figura 2.1 mostra a representação gráfica de duas séries que procura ilustrar o comportamento de duas quaisquer variáveis ao longo do tempo. As duas séries representam um processo autorregressivo simples do tipo,

$$Y_t = \alpha + \beta Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (2.1)$$

com ϵ_t sendo independente e identicamente distribuído com distribuição normal de média 0 e variância σ^2 ($\epsilon_t \underset{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$). Este pressuposto define uma série **ruído branco**. Admitindo que a relação em (2.1) teve início há muito tempo, esta pode ser reescrita da seguinte forma,

$$Y_t = \alpha(1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{t-1}) + (\epsilon_t + \beta\epsilon_{t-1} + \beta^2\epsilon_{t-2} + \dots + \beta^{t-1}\epsilon_1)$$

Assumindo que $\epsilon_t \underset{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$, temos o valor esperado de Y_t , que somente depende de β , ou seja,

$$E(Y_t) = \alpha(1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{t-1})$$

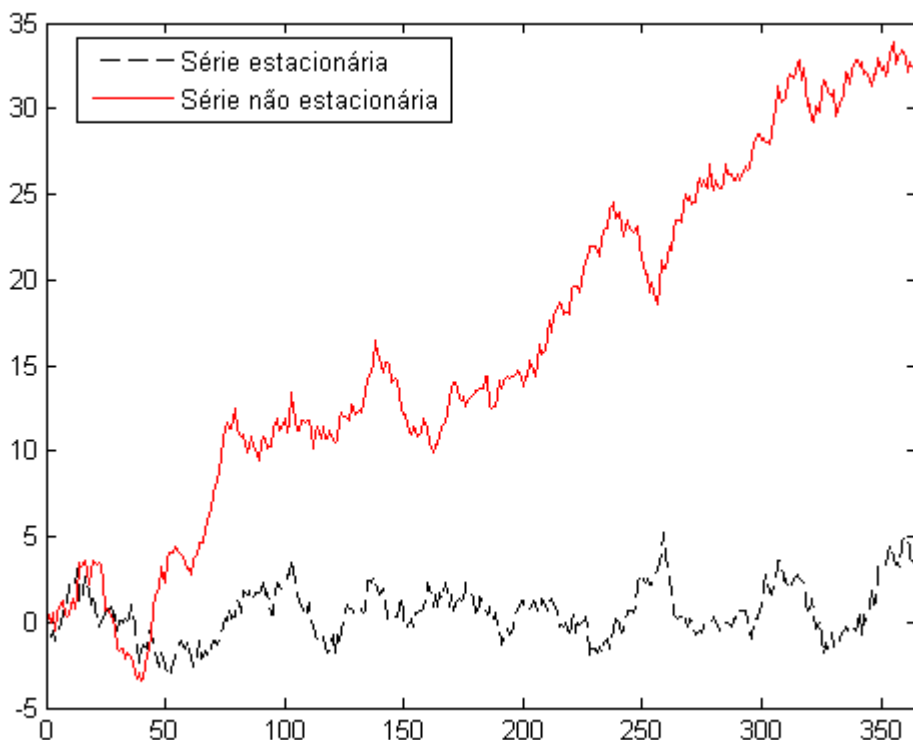


Figura 2.1 Representação gráfica de duas séries autorregressivas simples (AR(1)). Série com traço interrompido $X_t = 0,05 + 0,95X_{t-1} + \epsilon_t$. Série traço contínuo $Y_t = 0,05 + Y_{t-1} + \epsilon_t$. Ambas foram geradas considerando $\sigma^2 = 0,4$.

Fonte: Adaptado [6].

que só existe se a série geométrica $(1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{t-1})$ convergir, sendo condição suficiente e necessária para a convergência que

$$|\beta| < 1 \quad (2.2)$$

Considerando na Equação 2.2 $\beta < 1$ o valor esperado é dado por

$$E(Y_t) = \mu = \frac{\alpha}{1 - \beta}$$

Como o valor esperado de Y não é dependente de t diz-se que a série tem uma média não condicionada, independente do tempo.

Se na Equação (2.1) $\beta = 1$ esta transforma-se em

$$Y_t = \alpha + Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (2.3)$$

Assumindo os pressupostos para ϵ_t , o valor esperado condicionado é

$$E(Y_t|Y_0) = \alpha t + Y_0$$

que varia à medida que t aumenta. Portanto, quando na presença de uma raiz unitária, a série Y tem média condicionada no tempo. As séries temporais deste tipo dizem-se **não estacionárias**.

De facto, pela análise das séries apresentadas na Figura 2.1, verifica-se que a série X_t parece evidenciar um valor médio constante ao longo do tempo, com todos os valores contidos dentro de um intervalo definido $[-5, 5]$, não acontecendo o mesmo para a série Y_t .

Lopes (1999) sintetiza uma série temporal estacionária como tendo as seguintes características:

1. apresenta flutuações bem vincadas;
2. apresenta um comportamento de reversão para a média;
3. flutua dentro de um intervalo de amplitude constante, e;
4. o efeito de choques ou inovações no processo vai-se diluindo ao longo do tempo.

De acordo com Johnston e DiNardo (1997) a averiguação da estacionariedade de uma série pode ser realizado por duas metodologias distintas. Uma, de natureza menos formal e mais subjetiva, propõe a avaliação pelo gráfico da série e o seu correlograma. Outra, pela aplicação de testes estatísticos de raízes unitárias.

Os testes para raízes unitárias serão abordados de seguida, em capítulo próprio. Já no que diz respeito à avaliação gráfica, recuperamos as série da Figura 2.1 e fazemos uma análise.

Considerem-se as seguintes séries temporais:

$$\begin{aligned} X_t &= 0.05 + 0.95X_{t-1} + \epsilon_t \\ Y_t &= 0.05 + Y_{t-1} + \epsilon_t \end{aligned}$$

Numa série estacionária, o correlograma deverá apresentar um padrão de correlação onde o seu valor decai para zero exponencialmente segundo uma sinusoidal amortecida. Os coeficientes de autocorrelação (ρ), necessários para a construção do correlograma de uma série estacionária, são obtidos por:

$$\rho_h = \frac{E(X_t X_{t+h})}{\sqrt{\text{var}(X_t)}\sqrt{\text{var}(X_{t+h})}} = \frac{\gamma_h}{\gamma_0} \quad (2.4)$$

onde γ_h é o coeficiente de autocovariância com *lag* $h = 0, 1, 2, \dots, n - 1$. Os valores de γ na Equação (2.4) para uma amostra, podem ser estimados a partir da seguinte expressão:

$$\hat{\gamma}_h = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-h} (x_{t+h} - \bar{x})(x_t - \bar{x})$$

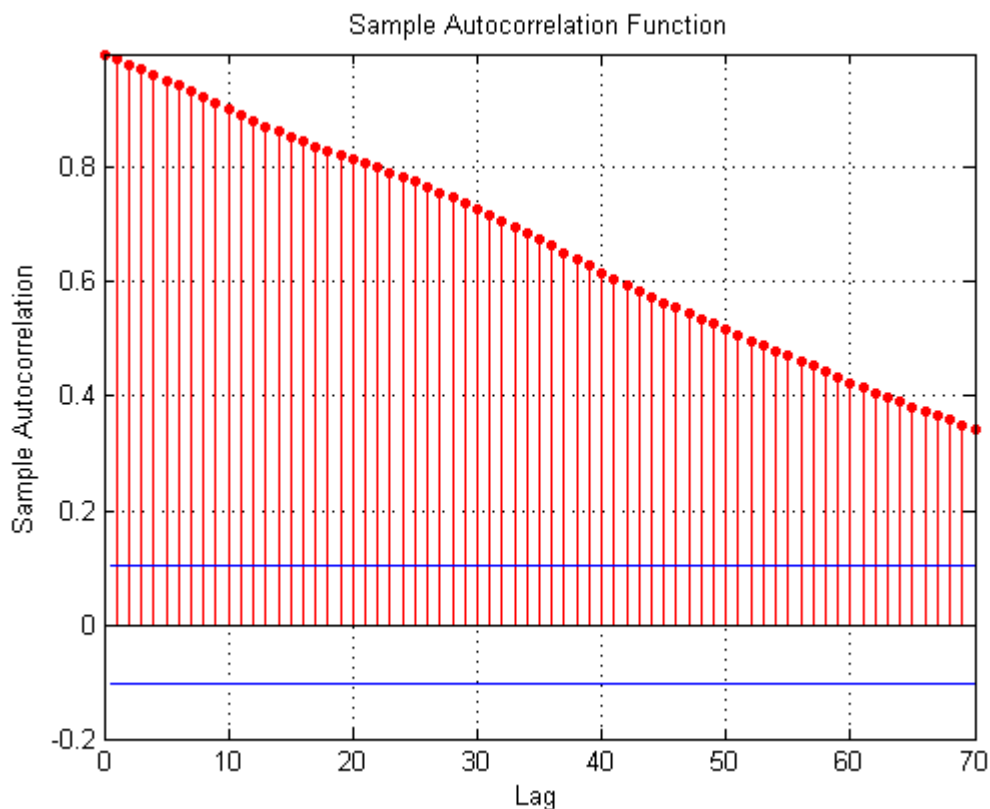


Figura 2.2 Correlograma da série $Y_t = 0,05 + Y_{t-1} + \epsilon_t$ apresentada na Figura 2.1. Linhas a azul representam o intervalo de confiança a 95% para ruído branco ($\pm 1,96\sqrt{n}$) uma vez que $\epsilon_t \overset{A}{\sim} N(0, 1/N)$ e 1,96 é o quantil 0,975 da distribuição normal.

onde $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$ é a média da amostra.

O correlograma da série Y_t da Figura 2.2 não tem o comportamento padronizado de um série estacionária, uma vez que não apresenta nenhum dos padrões referidos anteriormente, o que confirma a sua não estacionariedade. A Tabela 2.1 apresenta alguns coeficientes de autocorrelação selecionados para as duas séries onde se pode verificar um comportamento distinto para as duas séries. X_t apresenta valores próximos de zero para *lag* 12, enquanto que Y_t apresenta um valor mais elevado.

Testes de Raiz Unitária e Ordem de Integração

De forma mais formal, a avaliação da estacionariedade de uma série temporal é baseada na avaliação dos coeficientes do modelo autorregressivo. Este teste é conhecido como teste Dickey¹-Fuller² (teste DF). Testa-se, portanto, a presença de uma raiz unitária num modelo autorregressivo.

¹David Alan Dickey (1945)

²Wayne Arthur Fuller (1931)

Tabela 2.1 Valores de autocorrelação para as séries X e Y .

Lag	Sucessão	
	X_t	Y_t
1	1	1
4	0,701	0,964
8	0,451	0,924
12	0,186	0,883
16	-0,059	0,847

Pela Equação (2.1), considerando $\alpha = 0$ temos,

$$Y_t = \beta Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (2.5)$$

com $\epsilon_t \stackrel{iid}{\sim} (0, \sigma^2)$ e o teste consiste em testar a Equação (2.2), ou seja, temos uma série estacionária se $\beta < 1$, sendo não estacionária caso contrário.

Trata-se, portanto, de testar a hipótese nula de uma raiz unitária com base na Equação (2.5), isto é,

$$H_0 : \beta = 1$$

sendo a hipótese alternativa,

$$H_1 : \beta < 1$$

No entanto, é mais comum testar a presença da raiz unitária sob a forma de coeficientes nulos. Tal consegue-se subtraindo a cada um dos membros da Equação (2.5) Y_{t-1} , que resultará em,

$$\Delta Y = \phi Y_{t-1} + \epsilon_t$$

com $\phi = (\beta - 1)$, passando a testar,

$$H_0 : \phi = 0$$

contra a hipótese alternativa,

$$H_1 : \phi < 0$$

De acordo com Lopes (1999), um modelo autorregressivo simples, como o usado para exemplificar o teste DF, pode não ser suficiente para captar a evolução da série em função dos seus valores passados, podendo ser necessário a sua extensão a AR(2), ou generalizando, um processo AR(p), com $p > 1$. De acordo com o mesmo autor, os erros das equações de teste são autocorrelacionados tornando a inferência baseada nas estatísticas DF inválida. Dickey-Fuller, para contornar o problema da autocorrelação dos erros, consideram três tipos de análise distintas para a realização do teste de raiz unitária com hipótese nula $H_0 : \phi = 0$,

1. Considerando, no modelo autorregressivo, uma constante (α) e uma tendência determinística (t);

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta_1 t + \phi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t \quad (2.6)$$

2. Considerando, no modelo autorregressivo, uma constante;

$$\Delta Y_t = \alpha + \phi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t \quad (2.7)$$

3. Considerando, o modelo autorregressivo, sem constante e sem tendência;

$$\Delta Y_t = \phi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t \quad (2.8)$$

Estas expressões são uma extensão de um simples AR(1) para um modelo autorregressivo de ordem p com média móvel q (ARMA(p, q)), permitindo uma autorregressão de ordem suficientemente elevada que permita a eliminação dos sintomas de autocorrelação. A estes testes são conhecidos como teste **ADF** (*augmented* Dickey-Fuller), pois são aumentados por valores desfasados da variável dependente [7]. A estatística de teste para a distribuição é dada por,

$$\tau_i = \frac{\hat{\beta} - 1}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}} \quad (2.9)$$

com $i = 1, 2, 3$ conforme modelo adequado.

A série Y_t , apresentada na Figura 2.1, já havia sido confirmada, de forma visual, como sendo não estacionária através do seu correlograma. É uma série do tipo apresentado em 2, ou seja, trata-se de um modelo autorregressivo com uma constante. Pelo que poderíamos aplicar o teste ADF considerando a Equação (2.7). Quando não é conhecida a regressão aplica-se o teste considerado adequado.

O teste ADF aplicado a Y_t confirma, conforme esperado, a não estacionariedade da série para um nível de significância de 5% (valor $p = 0,8729$).

Diferenciação

Quando na presença de séries não estacionárias originalmente, estas devem ser transformadas para alcançar a estacionariedade. Uma técnica usada para tornar as séries

estacionárias é a aplicação das primeiras diferenças aos dados originais. Seja Y_t não estacionária, aplicando a diferenciação temos,

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (2.10)$$

Uma série originalmente estacionária, como X_t , é denotada de **I(0)**, o que significa dizer que ela é **integrada de ordem 0**. Na presença de uma série que necessite de ser diferenciada uma vez para alcançar a estacionariedade, diz-se integrada de ordem 1 - **I(1)**. Generalizando, uma série que necessite de ser diferenciada p vezes é integrada de ordem p^3 - **I(p)**. Assim, **ordem de integração** é o menor número de vezes que uma série necessita ser diferenciada para se tornar numa série estacionária [6].

O teste anteriormente aplicado a Y_t , para a presença de raiz unitária, e aplicado, agora, à série depois de diferenciada uma vez pela Equação (2.10) rejeita H_0 para um nível de significância de 0,01 (valor $p=0,0001$). Isto significa que a série apresentada é I(1).

Nesta secção fez-se uma descrição, de modo sucinto, de alguns testes estatísticos que permitem avaliar a estacionariedade de uma série temporal – pressuposto exigido para a realização de inferência sobre o coeficiente de correlação cruzada e para a aplicação de testes de causalidade.

2.2 Função de Correlação Cruzada

O estudo de existência de correlação (linear) entre duas variáveis baseia-se na Função de Correlação Cruzada - CCF⁴-; que permitirá a avaliação entre duas variáveis em instantes diferentes. Sejam X e Y duas séries estacionárias, o coeficiente de correlação cruzada avalia se alterações em X no instante t estão relacionadas com alterações em Y no instante $t + h$.

A Equação (2.4) apresenta a expressão para o cálculo do coeficiente de autocorrelação. Para determinar o coeficiente de correlação cruzada entre duas variáveis podemos escrever

$$\rho_{xy}(h) = \frac{E(X_t Y_{t+h})}{\sqrt{\text{var}(X_t)}\sqrt{\text{var}(Y_{t+h})}} = \frac{\gamma_{xy}(h)}{\sqrt{\gamma_x(0)\gamma_y(0)}}$$

onde $\gamma_{xy}(h)$ é a covariância cruzada entre X e Y . Este coeficiente para uma amostra é determinado por

$$\hat{\gamma}_{xy}(h) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-h} (x_{t+h} - \bar{x})(y_t - \bar{y})$$

³Normalmente não deverá ser necessário diferenciar a mais que duas vezes para alcançar a estacionariedade, sendo que a maioria das séries deverá ser I(1) ou I(2).

⁴CCF - do Inglês *Cross Correlation Function*

e a função de correlação cruzada

$$\hat{\rho}_{xy}(h) = \frac{\hat{\gamma}_{xy}(h)}{\sqrt{\hat{\gamma}_x(0)\hat{\gamma}_y(0)}}; \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Note-se que $\hat{\gamma}_{xy}(h) = \hat{\gamma}_{yx}(-h)$, mas $\hat{\gamma}_{xy}(h) \neq \hat{\gamma}_{xy}(-h)$. Se para o instante $t + h$ se obtiver um valor forte de $\hat{\rho}_{xy}(h)$, pode-se definir Y_t em função de X_{t-h} pela seguinte expressão,

$$Y_t = \beta X_{t-h} + \epsilon_t, \quad \text{com } \epsilon_t \underset{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$$

podemos dizer que:

- $h > 0$ - a variável x_t precede y_t ;
- $h < 0$ - a variável x_t é precedida por y_t

Para efeitos de ilustração retome-se a série X da Figura 2.1 e considere-se X^* uma versão retardada de X por 20 períodos de tempo. Conforme esperado a função de correlação cruzada apresenta um valor elevado ($\hat{\rho}_{xx^*}(20) \approx 0,878$) para um *lag* 20 conforme representado na Figura 2.3.

2.3 Causalidade

O teste apresentado anteriormente permite a avaliação da correlação de duas variáveis, no entanto, e como já foi referido, valores de correlação moderados/fortes não implicam necessariamente uma relação de causa e efeito entre elas. Uma relação estatisticamente forte entre duas ou mais variáveis não poderá, *per si*, estabelecer uma relação causal entre elas. Queremos com isto dizer que o facto de haver correlação entre duas variáveis não implicará a causalidade, mas a existência de causalidade indica que existe correlação.

Causalidade e precedência temporal são dois termos equivalentes pelo que, quando na presença de causalidade entre duas ou mais variáveis, é o mesmo que dizer que uma precede outra. Doravante adota-se o termo causalidade.

2.3.1 Teste de Causalidade de Granger

O teste de causalidade de Granger⁵ baseia-se no princípio que o futuro não causa o presente nem o passado. O que não significa que o passado cause o presente ou o futuro.

⁵Clive W. Granger [1934-2009] - Economista Britânico e prémio Nobel da Economia em 2003

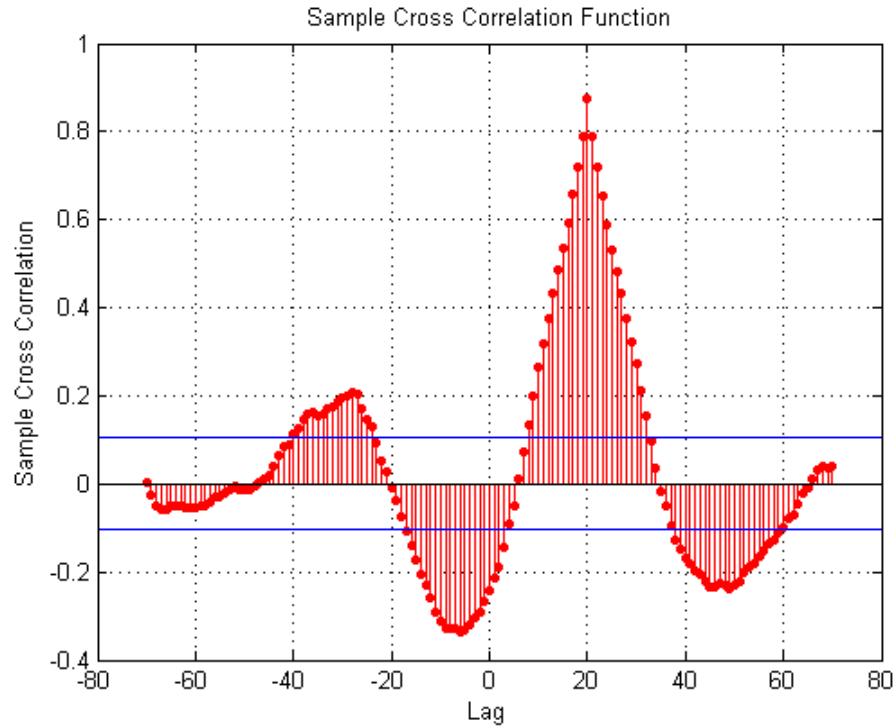


Figura 2.3 Função de correlação cruzada para as séries X e X^* . Linhas a azul representam o intervalo de confiança a 95% para ruído branco ($\pm 1,96\sqrt{n}$) uma vez que $\epsilon_t \stackrel{A}{\sim} N(0, 1/N)$ e 1,96 é o quantil 0,975 da distribuição normal.

De acordo com este princípio de causalidade, podemos avaliar a existência de uma relação estatística de causa e efeito entre X e Y quando exista uma relação de precedência temporal entre as duas variáveis. Diz-se que X causa à Granger Y se e só se valores passados de X ajudam a melhorar as previsões de Y , e que Y causa à Granger X se e só se valores passados de Y melhoram as previsões de X .

Podemos testar a ausência de causalidade através dos seguintes modelos:

$$Y_t = \sum_{i=1}^m a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^m b_i X_{t-i} + u_{1t} \quad (2.11)$$

$$X_t = \sum_{i=1}^m c_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^m d_i Y_{t-i} + u_{2t} \quad (2.12)$$

onde u_{it} , $i = 1, 2$ são os resíduos que se admite serem não-correlacionados.

A Equação (2.11) permite testar se valores desfasados de X e Y melhoram as previsões de Y por comparação com o uso de apenas valores desfasados de Y . À Equação (2.12) aplica-se o mesmo raciocínio para a variável X .

Formalmente, na Equação (2.11), causalidade de Granger envolve testar a hipótese de

não causalidade:

$$H_0 : \sum_{i=1}^m b_i = 0 \quad (2.13)$$

contra a hipótese alternativa de,

$$H_1 : \sum_{i=1}^m b_i \neq 0 \quad (2.14)$$

no caso de rejeição da hipótese nula temos que X causa à Granger Y .

Para a Equação (2.12) o teste de não causalidade é,

$$H_0 : \sum_{i=1}^m d_i = 0 \quad (2.15)$$

contra a hipótese alternativa de,

$$H_1 : \sum_{i=1}^m d_i \neq 0 \quad (2.16)$$

e, à semelhança do anterior, em caso de rejeição de H_0 temos que Y causa à Granger X .

A avaliação de uma relação de causalidade entre duas variáveis podem ser enquadradas dentro de quatro hipóteses: (i) causalidade unidirecional de X para Y ; (ii) causalidade unidirecional de Y para X ; (iii) causalidade bidirecional (ou bicausalidade); e (iv) ausência de causalidade. Estas hipóteses traduzem-se pelo seguinte:

- (i) quando os coeficientes estimados em (2.11) para a variável defasada Y são conjuntamente diferentes de zero e quando o conjunto de coeficientes estimados em (2.12) para a variável X não forem estatisticamente diferentes de zero
- (ii) quando o conjunto de coeficientes defasados para a variável Y na equação (2.11) não for estatisticamente diferente de zero e o conjunto de coeficientes defasados para a variável X em (2.12) for diferente de zero.
- (iii) quando os conjuntos de coeficientes defasados de X e Y forem estatisticamente diferentes de zero em ambas as regressões.
- (iv) quando, em ambas as regressões, os conjuntos de coeficientes defasados de X e Y não forem estatisticamente diferentes de zero.

A escolha do número de *lags* para a análise de causalidade entre duas variáveis é muito importante. Não existe uma forma consensual de determinar este *lag* no entanto existem vários métodos disponíveis baseados na determinação de um valor máximo de M , $m < M$. De forma menos formal, este valor máximo pode ser determinado por

quem estima o modelo com base em informação obtida e tendo em consideração a dimensão da amostra. Schwert (1989) propõe para determinação do *lag* máximo a seguinte expressão:

$$M = \left\lfloor 12 \left(\frac{T}{100} \right)^{1/4} \right\rfloor$$

onde T é o tamanho da amostra.

Mais formalmente utilizam-se critérios de discriminação ou de seleção de modelos por forma a minimizar o valor desse critério [7].

Apresentam-se dois dos critérios usuais para a determinação do *lag*: (i) Akaike's (1973) Information Criterion (AIC); e (ii) Schwarz (1978) Information Criterion (SBIC)⁶.

(i)

$$SBIC = \ln \frac{e'e}{T} + \frac{m}{T} \ln m \quad (2.17)$$

(ii)

$$AIC = \ln \frac{e'e}{T} + \frac{2m}{T} \quad (2.18)$$

onde $\ln \frac{e'e}{T} = \hat{L}$ é estimativa de máxima verossimilhança de σ^2 e m o número de *lags*. Basicamente, parte-se de um modelo de com o *lag* máximo M e vai-se gradativamente reduzindo o número de *lags* até que se encontre o valor de m que minimize o critério definido.

2.4 Métodos de Previsão

Nas secções anteriores descreveram-se alguns aspectos teóricos sobre técnicas de avaliação de relação entre duas séries temporais. Esta secção apresenta algumas considerações teóricas sobre o modelo de previsão paramétrico Autorregressivo com variáveis Exógenas (ARX).

2.4.1 Métodos Estatísticos - ARX

Nos modelos ARX a variável dependente (endógena) é estimada através de uma regressão linear múltipla que considera diversas variáveis explicativas (exógenas), que podem ou não estar desfasadas no tempo.

⁶SBIC - Schwarz (Bayesian) information criterion

É possível estimar o preço de energia elétrica com base em modelos de regressão linear múltipla. Esta metodologia é amplamente difundida em várias áreas de conhecimento, e consiste em estimar uma variável endógena Y_t por meio de algumas variáveis exógenas X_{it} , que podem ou não estar defasadas no tempo.

Na secção 2.1 apresentou-se a noção de um processo autorregressivo simples pela Equação 2.1 (denominado AR(1)) significando que a variável Y no instante t é uma combinação linear do seu valor no instante $t - 1$. A generalização de um processo autorregressivo de ordem p - AR(p) - pode ser definido por

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + \epsilon_t, \quad (2.19)$$

com $\epsilon_t \underset{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$.

No caso em que o valor de uma variável dependente puder ser obtido não só em função dos valores passados, mas também através de valores presentes e passados de outras variáveis explicativas deve considerar-se um modelo que permite acomodar toda a informação. Assim, para captar a relação existente entre uma variável Y e um conjunto de informação relativo a outras variáveis exógenas utiliza-se um modelo autorregressivo com variáveis exógenas – uma generalização do modelo AR(p) [15].

Um modelo autorregressivo com variáveis exógenas X^1, \dots, X^k , ou ARX(p, q_1, \dots, q_k) pode definir-se pela seguinte expressão:

$$A(L)Y_t = \sum_{i=1}^k B^i(L)X_t^i + \epsilon_t \quad (2.20)$$

onde $B(L) = \beta_0^i + \beta_1^i L + \dots + \beta_{q_i}^i L^{q_i}$ sendo β_j^i os respectivos coeficientes; e $A(L) = 1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p$. Na Equação (2.20) L representa o operador *lag* que, quando colocado atrás de uma variável de índice t (tempo), dá o valor anterior da série temporal, ou seja, $L(y_t) = y_{t-1}$ e generalizando temos $L^s(y_t) = y_{t-s}$ [6].

O método mais comum de estimação deste modelo é o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Neste método a obtenção dos estimadores dos coeficientes do modelo são obtidas minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre os valores reais e os valores previsto pelo modelo (tais diferenças são chamadas resíduos).

Capítulo 3

Resultados

3.1 Metodologia

Para o estudo das principais condicionantes do Preço de Mercado propõe-se a avaliação de correlação e causalidade (ver subsecção 2) entre um conjunto de variáveis potencialmente explicativas do comportamento do Preço de Mercado, depois de verificados os pressupostos que garantem a correta aplicação das técnicas utilizadas, em vários períodos de tempo. Estes períodos são definidos em função da variável de interesse e, sempre que justificado, pela variável explicativa em estudo. A título de exemplo, veja-se a Figura 3.1, que representa o comportamento do Preço de Mercado no período 2012 a 2013, onde estão assinalados dois instantes que merecem especial atenção. O que poderá ter provocado o facto do preço ter atingido valores 0 €/MWh em finais de março e início de abril de 2013? Em dezembro de 2013! O que terá provocado uma subida acentuada, os preços elevados durante a 2ª semana e a descida abrupta no final do mês?

Adicionalmente, para cada período selecionado, é realizada uma análise com base em dois ciclos semanais, isto é, dia útil e dia não útil (leia-se fim de semana). Faz-se, ainda, uma análise tendo em consideração dois ciclos diários - vazio e fora de vazio. O período fora de vazio considerado é composto pelo valor médio de 15 horas em dia útil e está compreendido entre as 7:00 e as 22:00 horas. As 9 horas restantes dizem respeito ao período de vazio, ou seja, das 0:00 às 7:00 e das 22:00 às 24:00. Fim de semana é considerado vazio. Tal justifica-se pela variabilidade intradiária e intra-semanal verificadas na variável em estudo. Verifica-se valores mais elevados coincidentes com o início e fim da normal atividade económica em dias de trabalho (ver Figura 3.2, que representa a evolução ao longo de duas semanas em 2012 ilustrativa dos ciclos diários e semanal).

O Quadro¹ 3.1 exemplifica alguns dos períodos considerados para avaliação tendo em

¹Sempre que justificado pela evolução de uma variável específica foram considerados outros períodos de tempo para análise. Sempre que tal acontece os resultados encontram-se acompanhados

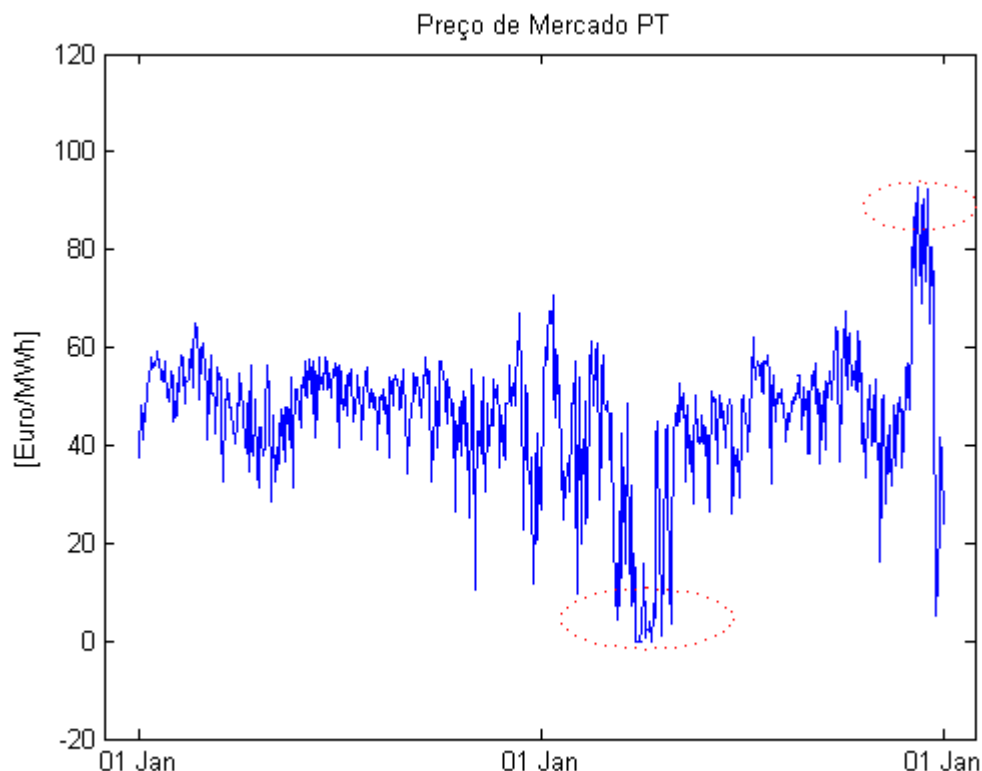


Figura 3.1 Preço Médio Diário MIBEL desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013. Série com 731 valores observados válidos. Média do período é 45,86 €/MWh (DP= 13,89). Períodos assinalados exemplificam o tipo de análise realizada à variável de interesse.

consideração uma análise gráfica do comportamento do Preço de Mercado.

Todos o trabalho computacional foi realizado com recurso ao MATLAB® R2013b e, pontualmente, com o Excel®

3.2 Avaliação de pressupostos

A secção 2.1 apresenta os conceitos de estacionariedade e ordem de integração de uma série temporal. Apresenta, ainda, uma metodologia que permite, quando na presença de uma série não estacionária, transformá-la por forma a conseguir a sua estacionariedade.

A ordem de integração para cada uma das variáveis em estudo, ou seja, a presença de um comportamento estacionário no modelo autorregressivo que representa a variável, foi determinado através do teste ADF, considerando os três modelos propostos por

por uma justificação.

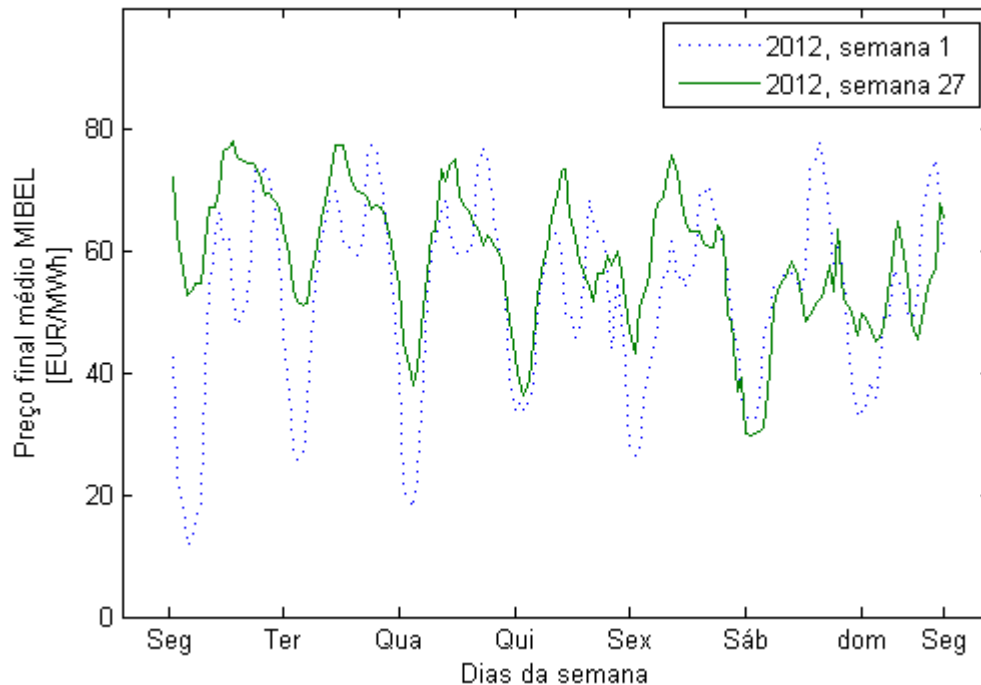


Figura 3.2 Preço de Mercado MIBEL para duas semanas de 2012. Semana de Inverno [2 a 8 de janeiro - semana 1]. Semana de verão [2 a 8 de julho - semana 27]. Ciclos diário e semanal são perceptíveis no comportamento do Preço de Mercado.

Dickey-Fuller (ver Equação (2.6), (2.7) e (2.8)) com uma nível de significância de 5% e considerando o critério de informação de Schwarz para a seleção do *lag*. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela D.1. A mesma tabela apresenta os resultados obtidos por aplicação do teste de raiz unitária de Phillips-Perron² que nem sempre corroboram os resultados obtidos com o teste ADF.

Os resultados evidenciam que a maioria das variáveis é não estacionária na sua forma original. Contudo, quando aplicada uma diferenciação de 1ª ordem, todas rejeitam a hipótese de raiz unitária.

As variáveis originalmente estacionárias ($I(0)$), são a Velocidade do Vento e a Precipitação. As Figuras 3.3 e 3.4 ilustram o comportamento das variáveis ao longo do intervalo de tempo considerado. É possível verificar que o correlograma de ambas parece confirmar/validar o resultado do teste ADF pois, conforme sustentam Johnston e DiNardo (1997), apresentam valores de autocorrelação que decaem rapidamente para zero. Isto, como já visto, é indicativo que a série não tem raiz unitária - integrada de ordem zero.

Uma análise mais cuidadosa do comportamento da Velocidade do Vento parece evidenciar uma média não condicionada no tempo e com valores a variar dentro de um

²Peter Phillips e Pierre Perron - O teste conhecido por teste PP está descrito no Anexo C.

Período	N [Dias]	Observações
01 jan 2012 - 31 dez 2013	731	Análise à série completa
01 jan 2012 - 31 dez 2012	366	Análise do ano de 2012
01 jan 2013- 31 dez 2013	365	Análise do ano de 2013
01 out 2012 - 31 mai 2013	243	Análise de Inverno
1 dez 2013 - 31 dez 2012	31	Análise ao mês onde se verifica grande
01 dez 2012 - 31 dez 2012		oscilações e comparação com o mesmo mês no ano anterior
1 mar 2013 - 30 abr 2013	61	Análise onde se verifica preço a zero euros
9 fev 2013 - 14 mai 2013	95	Análise ao aumento de Produção de Energia de origem Hídrica
1 abr 2012 - 31 out 2012	214	Análise ao Verão e comparação entre
25 mar 2013 - 10 nov 201	231	os dois anos

Quadro 3.1 Intervalos de tempo analisados para estudo e avaliação de correlação e causalidade entre a variável de interesse e as variáveis potencialmente explicativas

intervalo definido, com as exceções aos picos verificados em janeiro e dezembro de 2013. Já para a Precipitação, a presença elevada de zeros na série, fruto da sua especificidade e natureza (vários dias sem chuva), a aceitação da estacionaridade levanta algumas reservas. O teste ADF aplicado à série, retirando os valores correspondentes ao dias sem precipitação (258 dias válidos), não rejeita a hipótese de raiz unitária.

As restantes variáveis são $I(1)$ pois apenas alcançam a estacionaridade depois de diferenciadas uma vez.

3.3 Correlação

A categorização qualitativa da correlação utilizada foi proposta por Dancey e Reidy's (2004) e encontram-se apresentada no quadro 3.1.

Face ao elevado número de testes realizados, os resultados completos estão apresentados em anexo próprio. Nesta secção apresentam-se apenas os resultados que suscitam maior interesse para os vários cenários considerados.

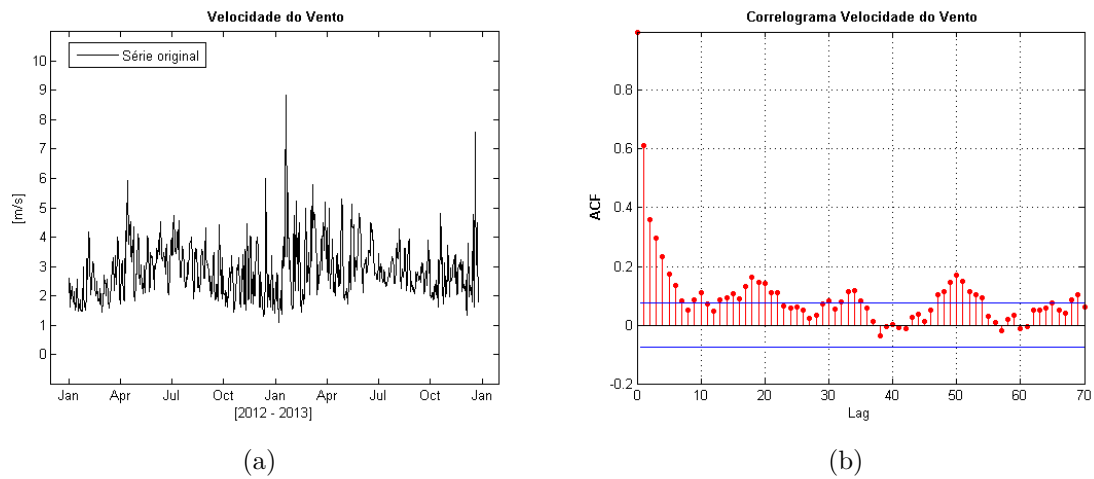


Figura 3.3 Velocidade do Vento de 2012-2013 (a); Correlograma (b). Remoção do valores em falta. Série com 724 valores válidos.

Coefficiente de Correlação $ \hat{\rho} $	Intensidade da Correlação
1	Perfeita
0,7 - 0,9	Forte
0,4 - 0,7	Moderada
0,1 - 0,4	Fraca
0	Nula

Quadro 3.1 Categorização de intensidade de correlação. Fonte: [21]

CCF - 2012-2013

A análise do intervalo de tempo em estudo revela que, entre as variáveis estudadas, a que apresenta maior coeficiente de correlação cruzada é quantidade de energia elétrica produzida por centrais térmicas a carvão - $[_d]Prd_C^{(1)}$ - ($\hat{\rho}(0) \approx 0.77$). Seguida pela $[_d]Prd_{CCGN}^{(1)}$ ($\hat{\rho}(0) \approx 0.53$) e pelo consumo de energia elétrica ($[_h]C^{(1)}$) $\hat{\rho}(1) \approx 0.48$. Já para $[_d]Prd_{Ab}^{(1)}$ o valor obtido é $\hat{\rho}(0) \approx 0.41$, que em comparação com o valor $[_h]Prd_{Ab}^{(1)}$ desce ligeiramente. A $[_d]Prd_{PREE}^{(1)}$ apresenta correlação negativa moderada com $\hat{\rho}(0) \approx -0,55$, atingindo um $\hat{\rho}(0) \approx -0.59$ em dia útil. O coeficiente de correlação do consumo desce ligeiramente em dia útil com $[_h]C^{(1)}$ ($\hat{\rho}(2) \approx 0.46$), subindo para $\hat{\rho}(0) \approx 0.54$ em dias de fim de semana. De todas as variáveis consideradas a $[_d]Prd_C^{(1)}$ é aquela que apresenta valores de correlação relevantes, pelo que importará uma análise mais pormenorizada.

Os dados expressos na Tabela 3.1 refletem a abordagem seguida para a análise dos ciclos de consumo anteriormente identificados (ver Secção 1.2.1). Verifica-se uma

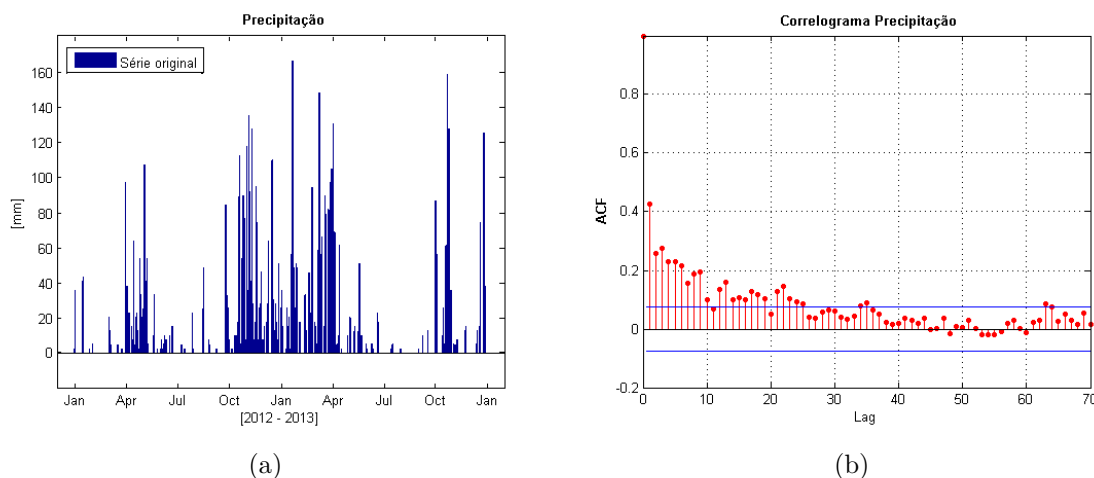


Figura 3.4 Precipitação observada 2012-2013 (a); Correlograma da série Precipitação (b). Remoção do valores em falta. Série com 724 valores válidos.

ligeira diminuição dos valores para a média diária $[_d]Prd_C^{(1)}$ quando analisados somente os dias úteis e em período fora de vazio, subindo ligeiramente com os dados horários, com a exceção do ciclo fora de vazio ($\hat{\rho}(0) \approx 0.35$). Comparando o ciclo semanal, os valores são mais elevados em dia útil (correlação positiva forte) face aos dias não úteis, onde se verifica uma correlação positiva moderada. O mesmo acontece no ciclo diário, onde a correlação é positiva forte no período fora de vazio, é superior ao verificado em vazio (positiva moderada). Com a $[_h]Prd_{Alb}^{(1)}$ e $[_d]Prd_{Alb}^{(1)}$ não se detectam variações significativas nos ciclos de consumo definidos. Como Exceção a este comportamento está o valor do coeficiente de correlação obtido em vazio ($\hat{\rho}(0) \approx 0.22$).

No que respeita às variáveis relacionadas com o clima em Portugal, aquela que se apresenta com correlações mais relevantes é a variável que representa a velocidade média do vento - $[_d]v_V^{(1)}$ -, com um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0 \approx -0.47)$ (para as restantes variáveis os valores de coeficiente de correlação positivos fracos e variam entre 0.08 e 0.24). Este valor moderado poderá estar relacionada pela relação direta existente, entre esta variável e a produção Eólica, e a sua representatividade no conjunto de produtores a mercado. A quantidade de energia elétrica produzida por parque eólicos representou, em média, cerca de 22.19% da produção de energia elétrica anos de 2012 e 2013.

As variáveis do grupo (iii) não foram analisadas neste período porque não foram conseguidos os dados relativos a 2012.

Os valores mais relevantes obtidos para o coeficiente de correlação foram maioritariamente conseguidos com *lag* nulo, o que significa não foi possível identificar uma precedência temporal entre as variáveis. Há, no entanto, algumas exceções: exemplo são os valores obtidos entre e $[_h]P_m^{(1)}$ e o $[_h]C^{(1)}$, com *lag* positivo ($1 \leq h \leq 2$). Isto indicará que variações no Preço de Mercado em Portugal são precedidas por variações no Consumo de energia elétrica em Portugal.

Tabela 3.1 Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Produção Térmica tipo Carvão [2012-2013].

Variáveis	[2012-2013]	Ciclos de Consumo	
		Dia útil	Fora de Vazio
${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,77$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,74$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,70$
${}_{[h]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,42$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,46$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,35$

CCF - 2012

A análise isolada do ano de 2012 não revela alterações significativas. A ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ e a ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ são as que têm correlação mais elevada ($\hat{\rho}(0) \approx 0,80$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,68$), respectivamente), sendo a ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ a que apresenta maior aumento em dia útil e em ciclo diário fora de vazio (registra-se, respectivamente, coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,70$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,68$, que compara com $\hat{\rho}(0) \approx 0,49$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,48$ com os dois anos em estudo). A ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$ neste período revela um coeficiente de correlação fraco ($\hat{\rho}(0) \approx 0,29$) face ao valor obtido nos dois anos em estudo. Veremos mais à frente que o mesmo não se verifica no ano de 2013. Esta variável apresenta valores de coeficiente de correlação moderados e positivos, com ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ ($\hat{\rho}(0) \approx 0,48$) em ciclo diário fora de vazio e $\hat{\rho}(0) \approx 0,43$ em dia útil.

O valor do coeficiente de correlação para a variável ${}_{[h]}I^{(1)}$ é $\hat{\rho}(0) \approx -0,43$, (correlação negativa moderada) em dia útil, mas o seu valor é ligeiramente melhor ao verificado no mesmo ciclo de consumo no biénio analisado ($\hat{\rho}(0) \approx -0,40$). O valor, considerando os dados de 2013 do coeficiente de correlação, demonstra uma correlação fraca. Nota para o facto da quantidade de energia elétrica importada em 2013 representar, apenas, cerca de 38,7% do total de energia elétrica importada durante os dois anos.

A ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ e ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$ seguem o verificado com os dados de 2012 e 2013 com uma correlação positiva fraca com Preço de Mercado, sendo os valores do coeficiente de correlação menores do que o obtido para os dois anos completos. Por exemplo, ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ tem um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,27$ e ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$ tem um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(-1) \approx 0,21$. Embora seja considerado uma correlação fraca, salienta-se o facto da presença de uma *lag* negativo indicativo de precedência temporal nesta variável. Neste período de 2012, ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ obtém um coeficiente de correlação ligeiramente inferior ($\hat{\rho}(0) \approx 0,49$) face ao obtido com os dados totais, verificando-se o mesmo nos ciclos de consumo relevantes identificados anteriormente, isto é, em ciclo semanal dia útil passa de aproximadamente $-0,59$ para $-0,54$. Em ciclo diário fora de vazio passa de aproximadamente $-0,55$ para $-0,52$. Nota para o facto de a ${}_{[d]}Prd_{PRET}^{(1)}$ ter um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,51$, valor de correlação positiva moderada que não se verifica em 2012-2013.

O coeficiente de correlação relativo ao consumo não apresenta alterações significativas

para ${}_{[h]}C^{(1)}$. Com ${}_{[d]}C^{(1)}$ há alteração do valor de correlação que é superior ${}_{[h]}C^{(1)}$. A excepção verifica-se em dia útil com os valores observados de ${}_{[h]}C^{(1)}$ onde o coeficiente de correlação determinado é $\hat{\rho}(2) \approx 0,51$, que compara com $\hat{\rho}(0) \approx 0,49$ nos dois anos.

Também o coeficiente de correlação obtido com os dados da velocidade média do vento em 2012, é inferior ao verificado no cenário anterior.

CCF - 2013

Para os dados relativos somente ao ano de 2013, o comportamento dos valores obtidos para o coeficiente de correlação para as variáveis ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ e ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ descem, na sua globalidade, ligeiramente face a 2012. A variável ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ tem coeficiente de correlação mais elevado, em ciclo semanal dia útil, em comparação com os dados de ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ de 2013. A descida é mais acentuada com ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ $\hat{\rho}(0) \approx 0,44$ quando comparado com o obtido em 2012. Em ciclo diário no período fora de vazio o valor do coeficiente de correlação para a ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ mantém-se face a 2012. O mesmo já não acontece para a ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ que desce de um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,68$ em 2013 para $\hat{\rho}(0) \approx 0,38$ em 2012. Esta descida considerável poderá estar relacionada com a menor quantidade de energia produzida por unidades de produção com esta tecnologia que se cifrou em cerca de 178,81 MWh em 2013 face aos 649,75 MWh em 2012.

A produção hídrica em regime ordinário do tipo Albufeira em 2013 mais que duplicou em relação a 2012, mas este facto não se reflete, de forma evidente, no coeficiente de correlação obtido. A ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ sobe de $\hat{\rho}(0) \approx 0,44$ em 2012 para $\hat{\rho}(0) \approx 0,49$ em 2013. Mais relevante é o que acontece com a ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$ que evidencia uma correlação fraca em 2012 ($\hat{\rho}(0) \approx 0,29$) para, em 2013, uma correlação positiva moderada com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,46$.

Valor idêntico tem a ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ que tem coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,44$ que compara com $\hat{\rho}(0) \approx 0,20$. O coeficiente de correlação para os dados da ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$ evoluem sentido oposto (ligeiramente superiores) continuando a evidenciar uma correlação negativa fraca com o melhor valor a registar-se com ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ em dia útil com $\hat{\rho}(0) \approx -0,24$. Ainda no âmbito da produção em regime especial, a produção Eólica obtém um coeficiente de correlação negativo moderado consistente com o cenário de 2012, mas com valor superior. Em dia útil apresenta coeficiente de correlação mais elevado com ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ ($\hat{\rho}(0) \approx -0,63$). A produção Eólica teve o seu valor máximo em 18 de janeiro de 2013 com uma produção média de 3554.81 MWh que representou cerca de 55% das necessidades de consumo em Portugal.

Os valores obtidos com a variável Consumo neste período são iguais ao verificado só com os valores de 2012. O melhor coeficiente de correlação foi obtido com $h = 0$, ou seja, com mesmo instante. É possível verificar, no entanto, que com ${}_{[d]}C^{(1)}$ em dia útil é consideravelmente inferior, $\hat{\rho}(0) \approx 0,15$, quando comparado com o ano de 2012. Em ciclo diário fora de vazio, o valor é idêntico ($\hat{\rho}(0) \approx 0,14$), bastante inferior ao

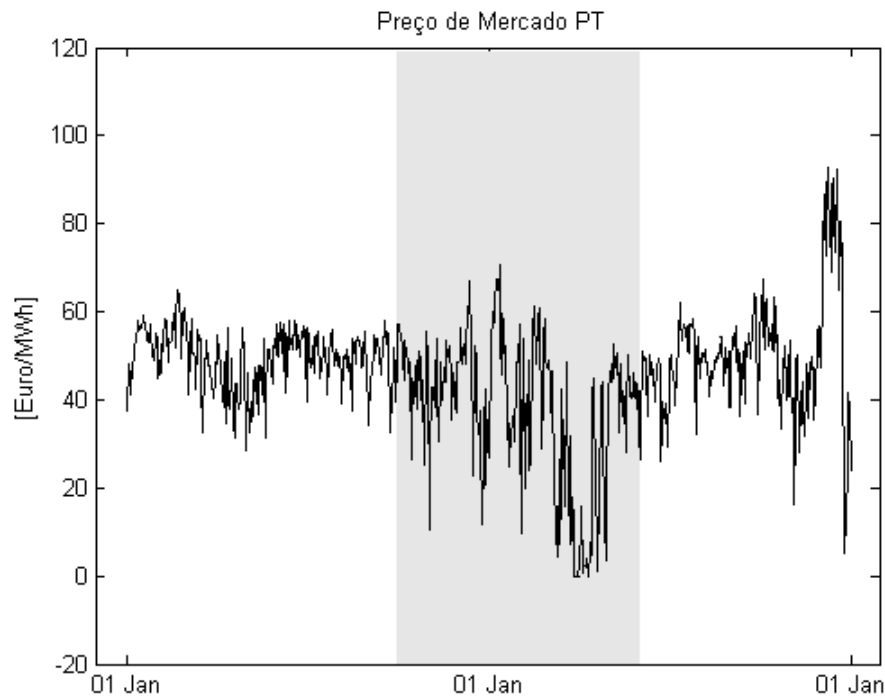


Figura 3.5 Preço de Mercado da Energia elétrica em Portugal desde 1/jan/2012 até 31/dez/2013. Área em destaque corresponde ao período compreendido entre 01/out/2012 e 31/mai/2013.

verificado em 2012 que foi de $\hat{\rho}(0) \approx 0,34$.

Por força na natureza dos dados das variáveis do grupo (iii), em que os valores observados são da cotação de fecho diária de cada uma das variáveis, não permitem a distinção em ciclos semanais e diários. Os testes realizados com estas variáveis equivalem aos testes considerando os dados referentes aos dias úteis (252 observações válidas). Contudo, para o período em questão as variáveis apresentam uma correlação fraca com o $[_d]P_m^{(1)}$ com coeficiente de correlação que não ultrapassam $|\hat{\rho}| \approx 0,16$.

CCF - [01/10/2012 - 31/05/2013]

A seleção deste intervalo de tempo para análise está relacionado com o facto do $[_d]P_m^{(0)}$ evidenciar um aumento da sua variabilidade como se pode verificar na Figura 3.5. Pretende-se tentar perceber se este aumento poderá ser explicado por alguma das variáveis em estudo.

Neste período a $[_d]Prd_C^{(1)}$ tem uma correlação positiva forte com um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,76$ obtendo, no entanto valores coeficiente de correlação moderados em dia útil ($\hat{\rho}(0) \approx 0,67$) e ciclo diário fora de vazio com um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,60$. Em dia útil a $[_h]Prd_C^{(1)}$ consegue um coeficiente de correlação inferior

Tabela 3.2 Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado, a Produção Hídrica (em regime especial e ordinário) e a Produção Fotovoltaica.

Variáveis	Ciclos de Consumo	
	Dia útil	Fora de Vazio
${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,42$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,37$
${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,36$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,43$
${}_{[h]}Prd_{Fag}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,31$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,22$
${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$	$\hat{\rho}(14) \approx -0,30$	$\hat{\rho}(20) \approx -0,36$
${}_{[h]}Prd_{PREF}^{(1)}$	$\hat{\rho}(10) \approx -0,38$	$\hat{\rho}(40) \approx -0,17$
${}_{[d]}Prd_{PREF}^{(1)}$	$\hat{\rho}(6) \approx 0,28$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,30$

($\hat{\rho}(0) \approx 0,43$) conforme acontece com os dados de 2012 e 2013. Com ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ o coeficiente de correlação encontrado, $\hat{\rho}(0) \approx 0,37$, é inferior ao obtido em 2012 e 2013 ($\hat{\rho}(0) \approx 0,68$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,44$, respectivamente) mas confirma melhores valores para ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ face a ${}_{[h]}Prd_{CCGN}^{(1)}$. Comparando estas duas variáveis nos cenários até agora apresentados é possível identificar dos comportamentos distintos. Para ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ os valores não sofrem grandes alterações. Já para ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ os valores de correlação para esta variável diminuem à medida que o intervalo de tempo diminuiu.

As variáveis relacionadas com a Produção Hídrica, não apresentam desvios significativos em relação aos valores obtidos com o ano de 2013. Verifica-se, apenas, uma descida ligeira para ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ ($\hat{\rho}(0) \approx 0,45$) enquanto que, ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ a correlação positiva moderada é de $\hat{\rho}(0) \approx 0,50$. Neste período regista-se um aumento da correlação nesta três variáveis nos ciclo de consumo considerados. Na Tabela 3.2 apresentamos os valores mais relevantes onde é possível verificar as diferenças quando se considera as 24 horas em dia útil com as 15 horas que correspondem o ciclo diário fora de vazio onde a correlação entre as variáveis é fraca.

À semelhança do ocorrido com as variáveis ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ e ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ a ${}_{[d]}I^{(1)}$ tem coeficiente de correlação inferior ($\hat{\rho}(0) \approx -0,18$) sendo que dia útil tem com ${}_{[h]}I^{(1)}$ $\hat{\rho}(0) \approx -0,32$

A Produção Fotovoltaica em regime especial não apresentam valores de correlação relevantes no período. Contudo, apresenta uma característica interessante quando se analisa os ciclos de consumo. A correlação entre esta variável a variável de interesse tem sentido oposto, ou seja, considerando o maior coeficiente de correlação (em valor absoluto) com ${}_{[h]}Prd_{PREF}^{(1)}$ o sentido da correlação é negativo, mas com os dados da ${}_{[d]}Prd_{PREF}^{(1)}$ temos correlação positiva (ver Tabela 3.2)

A ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ é, de toda a produção em regime especial, a que continua com coeficiente

de correlação superior. Tem um $\hat{\rho}(0) \approx -0,48$ que é superior ao verificado em 2012 e 2013. Este valor atinge $\hat{\rho}(0) \approx -0,56$ com ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ em dia útil e $\hat{\rho}(0) \approx -0,55$ em ciclo diário fora de vazio.

Os valores obtidos com o Consumo de energia elétrica em Portugal estão linha com os cenários anteriores. Pode-se observar uma correlação positiva moderada e existe maior correlação com os dados diários. Exemplo, são os valores obtidos em dia útil com $\hat{\rho}(1) \approx 0,42$ com ${}_{[h]}C^{(1)}$ contrastando com ${}_{[d]}C^{(1)}$ que atinge $\hat{\rho}(0) \approx 0,52$.

É possível verificar, pela primeira vez, uma correlação negativa com ${}_{[d]}R^{(1)}$ com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(6) \approx -0,48$ em ciclo semanal fim de semana. Neste intervalo de tempo, a quantidade de precipitação em Portugal registada, pelas estações meteorológicas consideradas (ver Quadro B.1), foi de $4953mm$ a que corresponde cerca de $62,9\%$ do total de precipitação neste dois anos em estudo.

CCF - [dez 2012 vs dez 2013]

O comportamento do ${}_{[d]}P_m^{(0)}$ no mês de dezembro de 2013 atinge máximos do período (ver Secção 1.2.3) de tempo total analisado neste estudo. Uma análise cuidada ao que acontece ao ${}_{[d]}P_m^{(0)}$ no mês de dezembro de 2013 permite, além dos máximos verificados, observar uma grande volatilidade no preço de mercado. Em dezembro de 2012, embora sem a mesma dimensão, é evidente um aumento da instabilidade do Preço de Mercado e é também neste período que se verifica o máximo de 2012 com o preço médio diário a ser de aproximadamente $67,09 \text{ €/MWh}$ verificado no dia 12.

O coeficiente de correlação encontrado para ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ é uma correlação positiva forte sendo de $\hat{\rho}(0) \approx 0,89$ em dezembro de 2012, sendo inferior em dezembro de 2013 ($\hat{\rho}(0) \approx 0,76$). No ano de 2013 o coeficiente de correlação em dia útil com ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ é de $\hat{\rho}(0) \approx 0,76$. Para esta variável verifica-se uma diferença considerável quando analisamos os resultados expressos na Tabela 3.3. Em ciclo diário fora de vazio obtém-se coeficiente de correlação mais elevado com os dados diários em relação aos valores obtidos com os dados horários em dezembro de 2012. Já em dezembro de 2013 o valor mais elevado de correlação é conseguido com ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ em dia útil ($\hat{\rho}(0) \approx 0,76$). A variável ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ apresenta correlação positiva moderada obtendo coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,57$ em dezembro de 2012 e $\hat{\rho}(0) \approx 0,62$ no mesmo mês de 2013. Contudo, apesar de se verificar uma maior correlação de dezembro de 2012 para dezembro de 2013, o mesmo não acontece quando analisados os ciclos de consumo neste período (ver Tabela 3.3). Enquanto que, os valores de correlação são superiores em dia útil e ciclo diário fora de vazio, aumentam em dezembro de 2012, não se verifica o mesmo comportamento em dezembro de 2013.

A Produção Hídrica em regime ordinário regista alterações significativas neste período. ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$, em dezembro de 2012, apresenta correlação negativa moderada com $\hat{\rho}(1) \approx -0,56$ e ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ correlação positiva moderada $\hat{\rho}(9) \approx 0,47$. Para a variável ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ em dia útil e fora de vazio o valor obtido ($\hat{\rho}(0) \approx 0,53$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,60$, respectivamente)

Tabela 3.3 Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Produção Térmica em regime ordinário do tipo Carvão e do tipo Ciclo Combinado a Gás Natural.

Período	Variáveis	Ciclos de Consumo	
		Dia útil	Fora de Vazio
dez 2012	${}_{[h]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,47$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,41$
dez 2012	${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,87$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,85$
dez 2012	${}_{[h]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-1) \approx 0,24$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,26$
dez 2012	${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,65$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,60$
dez 2013	${}_{[h]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,47$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,39$
dez 2013	${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,76$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,72$
dez 2013	${}_{[h]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,37$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,34$
dez 2013	${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,56$	$\hat{\rho}(0) \approx 0,41$

indica correlação positiva moderada, ou seja, o inverso do inicialmente indicado. Com a variável ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ o sentido positivo na correlação mantêm-se com valores ligeiramente superiores: $\hat{\rho}(0) \approx 0,58$ em dia útil, e $\hat{\rho}(0) \approx 0,68$ (valor mais elevado de todos os testes) em ciclo diário fora de vazio. Em dezembro de 2013 verifica-se exatamente o oposto com ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ a apresentar uma correlação negativa moderada ($\hat{\rho}(2) \approx -0,56$) valor que é ligeiramente inferior em ciclo diário fora de vazio com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(2) \approx -0,55$. ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ obtém $\hat{\rho}(0) \approx 0,49$ em dia útil que compara com os $\hat{\rho}(0) \approx 0,53$ em dezembro de 2012.

Os valores obtidos neste período para a variável representativa da quantidade de energia elétrica importada, apresentam correlação negativa moderada $\hat{\rho}(0) \approx -0,46$ (dez 2012) e $\hat{\rho}(0) \approx -0,48$ em 2013. Verifica-se melhores valores de correlação com ${}_{[h]}I^{(1)}$ relativamente aos dados ${}_{[d]}I^{(1)}$. Em dia útil atinge o valor mais elevado (em valor absoluto) com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx -0,54$.

A correlação, em dezembro de 2013, para ${}_{[d]}Prd_{PRET}^{(1)}$ é fraca. Em no mesmo mês de 2012 já apresenta correlação moderada (positiva) com $\hat{\rho}(0) \approx 0,41$ atingindo $\hat{\rho}(0) \approx 0,52$ em dia útil e $\hat{\rho}(0) \approx 0,58$ em ciclo diária fora de vazio. Com os dados relativos à ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ é igual nos dois anos, isto é, tem correlação negativa moderada com $\hat{\rho}(0) \approx -0,64$. Contudo, em dezembro de 2012, o valor é superior em ciclo diária fora de vazio face ao ocorrido em dezembro de 2013. Em dia útil o correlação mais significativa foi em dezembro de 2013 com $\hat{\rho}(0) \approx -0,61$ quando comparado com o valor de 2012 com apenas $\hat{\rho}(0) \approx -0,57$.

A ${}_{[d]}Prd_{PREF}^{(1)}$ tem, em dezembro de 2012, correlação positiva moderada ($\hat{\rho}(-10) \approx 0,50$), mas em dezembro de 2013 os valores evidenciam correlação fraca. É possível

em dezembro de 2013 encontrar correlação positiva moderada com $[_h]Prd_{PREF}^{(1)}$ com $\hat{\rho}(-8) \approx 0,46$ quando, em 2012, se obtém $\hat{\rho}(-8) \approx 0,43$. Neste período o *lag* é consistente nos dois meses ($h = -8$) que indica que o este valor foi obtido com valores passados desta variável.

Com a variável consumo os valores obtidos são mais elevados para o mês de dezembro em 2012 ($\hat{\rho}(1) \approx 0,53$ e $\hat{\rho}(1) \approx 0,59$, em 2012 e 2013, respectivamente). Para esta variável os testes, até aqui apresentados, revelam que os melhores valores de correlação com esta variável eram conseguidos com $[_h]C^{(1)}$ em dia útil e fora de vazio. Apenas neste dois meses isto não se verifica. Em dia útil $[_d]C^{(1)}$ tem $\hat{\rho}(0) \approx 0,64$ e em ciclo diária fora de vazio o coeficiente de correlação é $\hat{\rho}(0) \approx 0,71$ (valores de 2012). Em dezembro de 2013 $[_d]C^{(1)}$ obtém $\hat{\rho}(0) \approx 0,54$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,57$ para os respectivos ciclos de consumo. Esta diferença poderá, em certa medida, ser explicada pelo facto de neste mês se festejar o Natal onde o padrão de consumo em dia feriado de assemelha ao verificado em dias de fim de semana.

No que respeita às variáveis relacionadas com o clima verifica-se correlação negativa moderada para a temperatura (mínima, média e máxima). No entanto, com $[_d]T_{med}^{(1)}$ e $[_d]T_{min}^{(1)}$ em dia útil a correlação passa a forte com valores de coeficiente de correlação de $\hat{\rho}(-5) \approx -0,73$ e $\hat{\rho}(-5) \approx -0,74$, respetivamente (note-se que o *lag* é igual para as três variáveis com correlação mais evidente com os dados da temperatura mínima). A correlação com $[_d]v_V^{(1)}$ é aproximada dos valores até agora encontradas. Contudo, em dezembro de 2013, a correlação é considerada forte (negativa) com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx -0,84$. Os valores de correlação para $[_d]R^{(1)}$ são fracos em dezembro de 2012, mas revela melhor correlação com os dados referentes ao mês de dezembro de 2013.

Uma comparação direta dos valores obtidos para o grupo de variáveis anteriores não será viável tendo em consideração que estamos na presença de cerca de 10% de valores em falta não sendo possível a realização de quaisquer conclusões.

CCF - [01/03/2013 - 30/04/2013]

A escolha deste intervalo de tempo é justificado pelo facto do Preço de Mercado da energia eléctrica em Portugal ter atingindo 0 €/MWh em várias horas de mercado. Totalizaram-se 418 horas de negociação com preço €/MWh neste período, sendo 170 horas em março e as restantes 248 horas durante o mês de abril. Isto representa, entre outros, três dias deste período em que o preço médio diário foi de 0 €/MWh, e que se verifica um período consecutivo de 66 horas o preço a 0 €/MWh.

A $[_d]Prd_C^{(1)}$ continua a ser a variável que apresenta maior relação com o $[_d]P_m^{(1)}$ evidenciando correlação positiva forte $\hat{\rho}(0) \approx 0,79$ que em dia útil atinge $\hat{\rho}(0) \approx 0,80$. O melhor valor de correlação conseguido com $[_d]Prd_{CCGN}^{(1)}$ acontece em dia útil com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,45$. Para o mesmo ciclo de consumo esta variável obtém, em 2013, apenas $\hat{\rho}(0) \approx 0,38$.

Tabela 3.4 Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a produção em regime especial por tipo de tecnologia.

Variáveis	Ciclos de Consumo	
	Dia útil	Fora de Vazio
${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-11) \approx -0,34$	$\hat{\rho}(6) \approx 0,36$
${}_{[d]}Prd_{PRET}^{(1)}$	$\hat{\rho}(9) \approx 0,37$	$\hat{\rho}(9) \approx 0,39$
${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$	$\hat{\rho}(0) \approx -0,67$	$\hat{\rho}(0) \approx -0,60$
${}_{[d]}Prd_{PREF}^{(1)}$	$\hat{\rho}(1) \approx 0,40$	$\hat{\rho}(1) \approx 0,41$

Com ${}_{[d]}Prd_{Ab}^{(1)}$ os valores de correlação continuam positivos moderados ($\hat{\rho}(0) \approx 0,54$) sendo ligeiramente inferiores ao verificado nos cenários anteriores. O mesmo se verifica com ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ com uma correlação positiva moderada, $\hat{\rho}(0) \approx 0,46$, em linha com o verificado utilizando os valores observados em 2013 ($\hat{\rho}(0) \approx 0,44$). Para a variável que representa ${}_{[d]}I^{(1)}$ regista-se correlação negativa fraca com excepção do verificado em dia útil com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(3) \approx -0,47$ em dia útil.

A quantidade de energia produzida em regime especial, segundo as várias tecnologias a mercado, apresentam na generalidade valores de correlação fracos. A excepção continua a ser com a ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ com valores próximos dos obtidos para 2013 ($\hat{\rho}(0) \approx -0,57$) que demonstra correlação negativa moderada. Na Tabela 3.4 apresentam-se os valores mais significativos para este conjunto de variáveis neste período.

Também no consumo não se verificam alterações de relevantes. A relação entre esta variável e a variável de interesse evidenciam uma correlação positiva moderada ($\hat{\rho}(0) \approx 0,46$) com supremacia com os dados ${}_{[h]}C^{(1)}$ face a ${}_{[d]}C^{(1)}$, e com ligeira diminuição em dia útil, mas com $\hat{\rho}(0) \approx 0,56$ em ciclo diário fora de vazio.

Neste intervalo de tempo não se detectam diferenças significativas com o uso da variável Temperatura. Contudo os valores do coeficiente de correlação mostra correlação negativa moderada ($-0,59 \leq \hat{\rho} \leq -0,52$) em dia fim de semana. O total de precipitação acumulada nestes dois meses de 2013 totalizou 1714, 50mm que representa uma variação, relativamente ao período homólogo em 2012, de aproximadamente 187,2%. Este aumento de precipitação não reflete, contudo uma aumento da correlação com ${}_{[d]}P_m^{(1)}$ verificando-se correlação negativa fraca ($\hat{\rho}(1) \approx -0,33$). Já a ${}_{[d]}v_V^{(1)}$ está em concordância com os já valores obtidos apresentando, neste intervalo, uma correlação ligeiramente superior com $\hat{\rho}(0) \approx -0,56$ em dia fim de semana.

CCF - [Verão 2012 vs Verão 2013]

O interesse em analisar e comparar, o período relativo à estação do ano mais quente em cada um dos anos em estudo, pretende-se com o facto de tentar aferir do impacto

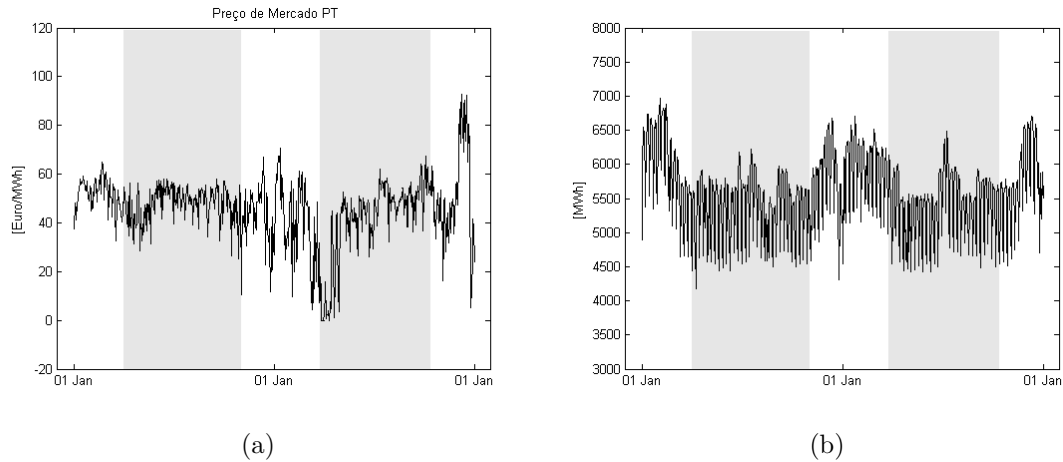


Figura 3.6 Preço médio diário da energia elétrica em mercado livre (a). Consumo médio diário em Portugal (b). Zonas em destaque correspondem ao período de Verão de 2012 [1/abr/2012 - 31/10/2012] e do Verão de 2013 [25/03/2013 - 11/10/2013].

que as condições climáticas sentidas em Portugal neste período poderão ter no comportamento do Preço de Mercado da energia elétrica em regime livre.

A Figura 3.6 identifica os respectivos intervalos de tempo considerados para estudo onde é perceptível a sazonalidade Inverno Verão do biénio analisado

A ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ apresenta valores de correlação positiva forte sendo maior no Verão de 2013 $\hat{\rho}(0) \approx 0,79$ contra $\hat{\rho}(0) \approx 0,72$ em 2012. Os ciclos de consumo utilizados refletem estes valores em idêntica proporção ao sucedido com os anos completos de 2012 e 2013 (ligeiramente inferiores em dia útil e fora de vazio). Comportamento similar é possível verificar com ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ que confirma uma correlação positiva moderada ($\hat{\rho}(0) \approx 0,74$, em 2012) com valor bastante superior ao verificado no Verão de 2013 que apresenta um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,45$.

${}_{[h]}Prd_{Ab}^{(1)}$ em 2012 obtém coeficiente de correlação moderado com $\hat{\rho}(0) \approx 0,43$ sendo ligeiramente superior em 2013 ($\hat{\rho}(0) \approx 0,45$) mas, em ciclo diário fora de vazio, é no Verão de 2012 onde se verifica coeficiente de correlação mais elevado com $\hat{\rho}(0) \approx 0,44$ contra o verificado no Verão de 2013 com $\hat{\rho}(0) \approx 0,42$. ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ no Verão de 2012 apresenta valores de correlação fracos ao contrário do que pode verificar com o Verão de 2013 onde o coeficiente de correlação obtido é $\hat{\rho}(0) \approx 0,47$. Ainda, para esta variável, confirma-se sucedido com as análises anteriores onde, os valores de correlação, são menores quando analisados os ciclos de consumo definidos.

${}_{[d]}Prd_{PRE_T}^{(1)}$ regista, nesta análise, valores superiores quando comparados com os respectivos anos completos. ${}_{[d]}Prd_{PRE_T}^{(1)}$ no Verão de 2012 apresenta correlação positiva moderada $\hat{\rho}(0) \approx 0,56$ e $\hat{\rho}(-7) \approx 0,50$ em 2013. Estes valores comparam com $\hat{\rho}(0) \approx 0,51$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,33$ relativos aos anos completos de 2012 e 2013, respectivamente. ${}_{[d]}Prd_{PRE_E}^{(1)}$ continua a registar valores de correlação negativos moderados com coeficiente de

correlação $\hat{\rho}(0) \approx -0,42$, no Verão de 2012, e $\hat{\rho}(0) \approx -0,45$ no Verão de 2013. Estes valores quando comparados com os respectivos anos completos são inferiores o que poderá significar a menor preponderância deste tipo de produção neste período. Isto poderá ser reflexo da menor participação desta tecnologia para as necessidades de consumo que representa em média, para os dois períodos em questão, cerca de 19,8% das necessidade de consumo, com produção aproximada de 1066 MWh.

Com um aumento do número de horas de sol neste período poderia-se esperar alterações na relação com a Produção em Regime Especial do tipo Fotovoltaica. Verifica-se um aumento de 47% nesta variável no Verão de 2012 e 2013 em comparação com o restante período, mas este aumento não tem reflexo no coeficiente de correlação obtido com esta variável. O melhor valor de correlação é verificado no Verão de 2013 em dia útil com ${}_{[h]}Prd_{PRE}^{(1)}$ que obtém $\hat{\rho}(-13) \approx -0,40$ que, no mesmo ciclo mas no Verão de 2012, é de apenas $\hat{\rho}(-61) \approx -0,28$.

O consumo verificado em Portugal nestes dois períodos é inferior à média dos dois anos (5373,95 MWh), como possível identificar na Figura 3.6, embora com registo de uma subida acentuada referente à 2ª semana de julho de 2013 (valor máximo a 9/jul com 6480,84 MWh). Não obstante esta redução média do consumo, não há variação (em sentido e força) da correlação, entre esta variável e o Preço de Mercado, que continua a ser uma correlação positiva moderada. Comparando com os dois períodos o coeficiente de correlação é igual com variação apenas do *lag* ($\hat{\rho}(0) \approx 0,54$, em 2012; $\hat{\rho}(-7) \approx 0,54$, em 2013) com ${}_{[h]}C^{(1)}$.

Neste período verifica-se um aumento da temperatura média do ar em Portugal. O coeficiente de correlação obtido por ${}_{[d]}T_{max}^{(1)}$, ${}_{[d]}T_{med}^{(1)}$ e ${}_{[d]}T_{min}^{(1)}$ continua fraco (negativo) com os melhores valores a serem em dia fim de semana (Tabela 3.5) Também em relação a ${}_{[d]}R^{(1)}$ e ${}_{[d]}v_V^{(1)}$, os valores obtidos revelam correlação negativa fraca com melhores resultados em dia fim de semana. ${}_{[d]}v_V^{(1)}$ obtém coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx -0,44$ no Verão de 2012. No Verão 2013 verifica-se uma correlação inversa, ou seja, correlação positiva fraca com $\hat{\rho}(4) \approx 0,31$. Comportamento contrário ao verificado com esta última variável tem ${}_{[d]}R^{(1)}$ que passa de uma correlação positiva fraca para uma correlação negativa moderada ($\hat{\rho}(1) \approx 0,32$, no Verão de 2012, e $\hat{\rho}(-8) \approx -0,46$).

CCF - [Inverno 2012-2103]

A análise de Inverno realizada é composta com os valores observados, das variáveis em estudo, compreendidas entre o dia 01/11/2012 e o dia 24/03/2014. Este período poderá ser identificado na Figura 3.6 onde é possível identificar o aumento do consumo médio diário com uma queda acentuada no período natalício.

O coeficiente de correlação obtido com ${}_{[d]}Prd_C^{(1)}$ continua elevado ($\hat{\rho}(0) \approx 0,81$) chegando aos $\hat{\rho}(0) \approx 0,82$ em dia útil (o mais elevado de todos os testes). Em ciclo diário fora de vazio a correlação é positiva forte com $\hat{\rho}(0) \approx -0,78$. ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ tem,

Tabela 3.5 Valores de coeficiente de correlação entre o Preço de Mercado e a Temperatura do ar em Portugal.

Período	Variáveis	Ciclo de Consumo
		Fim de Semana
Verão 2012	${}_{[d]}T_{max}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-32) \approx -0,36$
	${}_{[d]}T_{med}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-33) \approx -0,36$
	${}_{[d]}T_{min}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-39) \approx -0,31$
Verão 2013	${}_{[d]}T_{max}^{(1)}$	$\hat{\rho}(10) \approx -0,37$
	${}_{[d]}T_{med}^{(1)}$	$\hat{\rho}(10) \approx -0,34$
	${}_{[d]}T_{min}^{(1)}$	$\hat{\rho}(-8) \approx -0,28$

neste período, e à semelhança dos anteriores, correlação moderada positiva com ${}_{[d]}P_m^{(1)}$ obtendo $\hat{\rho}(0) \approx 0,46$ com valores ligeiramente inferiores nos vários ciclos de consumo.

Em relação à ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$ a correlação identificada continua a ser moderada (positiva) com $\hat{\rho}(0) \approx 0,56$ mas é das mais elevadas de todos os testes já realizados (somente ultrapassados pelo valor obtido em dezembro de 2012 com ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ em ciclo fora de vazio ($\hat{\rho}(0) \approx 0,60$)). ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$ não segue o verificado com ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$. Os valores de correlação obtidos são inferiores ao verificado em cenários anteriores obtendo uma correlação positiva moderada com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,41$. Os testes comprovam, no entanto, a tendência verificada por esta variável conseguindo melhores valores com ${}_{[h]}Prd_{Fag}^{(1)}$ em dia útil e em fora de vazio. Em relação à ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$, esta variável não apresenta correlação significativa.

${}_{[h]}I^{(1)}$ apresenta-se com correlação negativa moderada ($\hat{\rho}(0) \approx -0,41$) com coeficiente de correlação em dia útil a atingir $\hat{\rho}(0) \approx -0,42$.

Conforme já referido anteriormente, ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$ não apresenta valores relevantes neste período. O mesmo acontece com ${}_{[d]}Prd_{PRET}^{(1)}$ com correlação positiva fraca. Dentro dos produtores em regime especial, ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ continua a ser aquela que evidencia uma relação mais consistente. Consistente porque nos diversos testes, não só o valor do coeficiente de correlação obtido não mostra grande variação ($-0,64 \leq \hat{\rho} \leq -0,45$), mas também na identificação do *lag* ($h = 0$). Neste período a correlação é negativa moderada ($\hat{\rho}(0) \approx -0,63$) somente ultrapassado pelo valor conseguido na análise de dezembro de 2012 e 2013.

Das variáveis do grupo (ii) a que continua a ter melhor correlação é a ${}_{[d]}v_V^{(1)}$ com correlação negativa moderada ($\hat{\rho}(0) \approx -0,51$). As restantes variáveis apresentam correlação fraca com a variável de interesse.

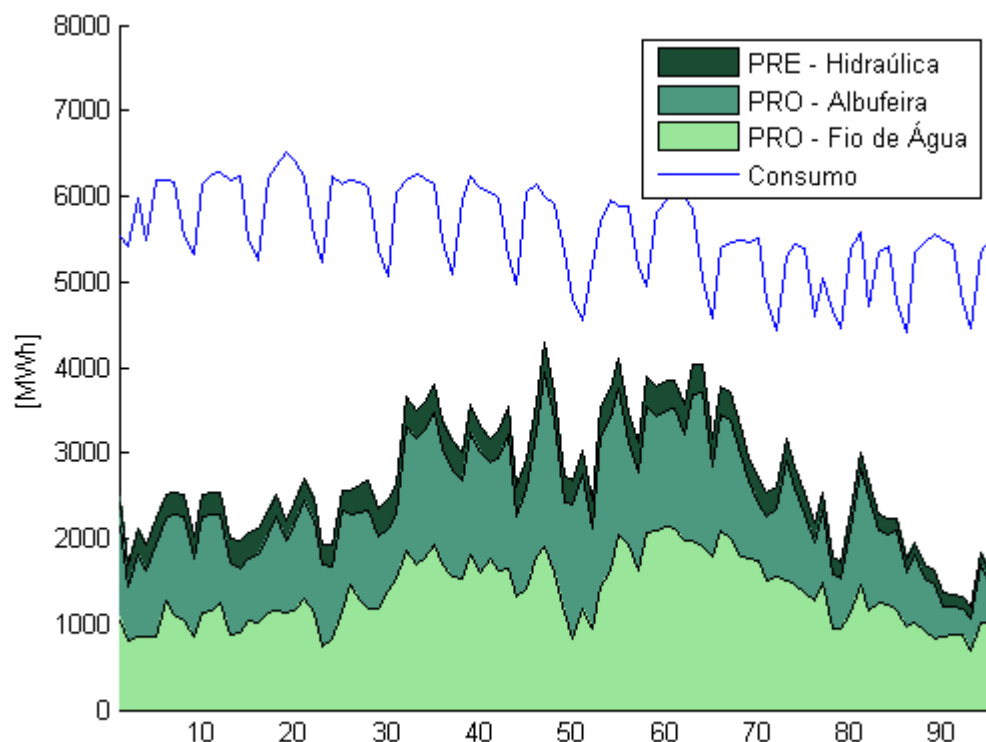


Figura 3.7 *Mix* produção Hídrica em regime especial e ordinário. Valores médios diários de 95 dias compreendidos entre 9/02/2013 e 14/05/2013. Consumo médio diário de 5584,54 MWh ($DP = 548,88$). Produção Hídrica representa cerca de 49% do consumo médio neste intervalo

CCF - Produção Hídrica [09/02/2013 - 14/05/2013]

Os testes anteriores foram definidos de forma global analisando o comportamento da variável de interesse - Preço de Mercado. Os testes que se apresentam de seguida procuram uma análise em função do comportamento das variáveis potencialmente explicativas da evolução do Preço de Mercado em Portugal. Apresenta-se somente os resultados³ relativos a essas variáveis. O primeiro desses testes compreende os valores observados entre 9 de fevereiro de 2013 até o dia 14 de maio de 2013. A Figura 3.7 mostra o *mix* produtivo das tecnologias a mercado do tipo hídrica.

Neste intervalo $[_d]Prd_{PREH}^{(1)}$ o coeficiente de correlação não dá indicação de relação relevante entre as variáveis. Obtém $\hat{\rho}(-29) \approx 0,32$. $[_d]Prd_{Alb}^{(1)}$ e $[_d]Prd_{Fag}^{(1)}$ apresentam valores de correlação positivos moderados com coeficiente de correlação $\hat{\rho}(0) \approx 0,54$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,50$, respectivamente. Em dia útil e ciclo diário fora de vazio $[_d]Prd_{Fag}^{(1)}$ que

³Para este intervalo de tempo realizaram-se os testes para todas as variáveis em estudo. Os resultados completos podem ser consultados em apêndice próprio.

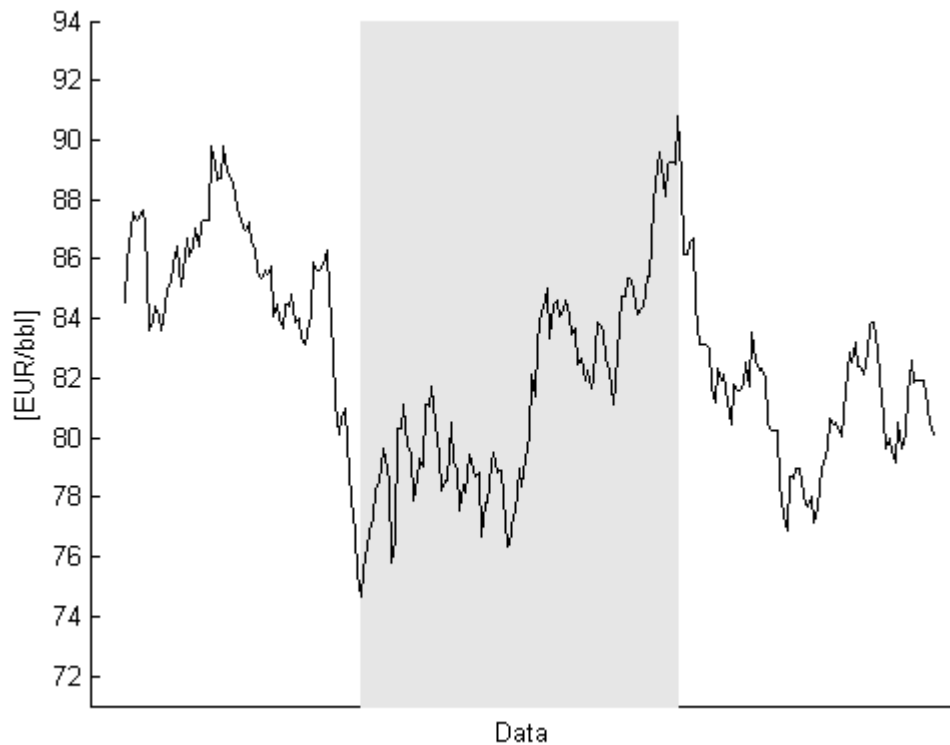


Figura 3.8 Evolução da cotação do Brent em 2013. Valores de fecho diários de 261 valores válidos observados. Zona a sombreado representa o intervalo entre 17/04/2013 e 06/09/2013 que representa, respectivamente a cotação mínima (74,64€/bbl) e o máximo (90,80€/bbl).

apresenta maior correlação ($\hat{\rho}(0) \approx 0,41$ e $\hat{\rho}(0) \approx 0,43$), mas os valores são maiores, neste mesmos ciclos, com ${}_{[h]}Prd_{Alb}^{(1)}$ com $\hat{\rho}(0) \approx 0,46$, em dia útil, e $\hat{\rho}(0) \approx 0,47$ em ciclo diário fora de vazio. Esta diferença entre valores hora e média diária comprova os resultados obtidos por estas variáveis na globalidade dos testes.

CCF - Cotação do Petróleo (*Brent*) - [17/04/2013 - 06/09/2013]

No intervalo de tempo em análise não revela alterações consideráveis em relação aos testes. Não obstante o facto de se observar uma tendência de subida na cotação do Brent a sua correlação com o ${}_{[d]}P_m^{(1)}$ continua uma correlação positiva fraca com um coeficiente de correlação $\hat{\rho}(8) \approx 0,28$. Os testes anteriormente realizados com esta variável apresentaram, igualmente, correlação fraca.

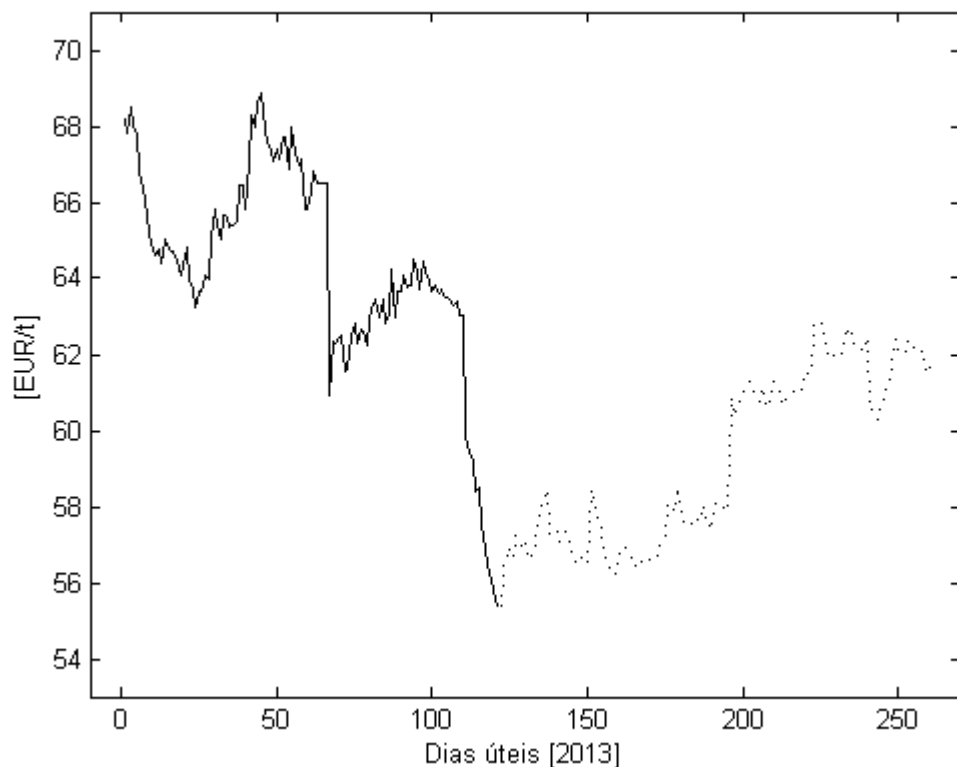


Figura 3.9 Evolução da cotação do Carvão API2 em 2013. A traço contínuo o intervalo de tempo compreendido entre 01/01/2013 a 18/06/2013 com clara tendência de queda. A traço interrompido intervalo de 19/12/2013 com inversão de tendência

CCF - Cotação do Carvão (*API2*)

O estudo para esta variável importa em dois cenários distintos visíveis na Figura 3.9.

À semelhança do verificado com cotação do *Brent*, a correlação identificada com esta variável é fraca (negativa). Nos dois períodos identificados o coeficiente de correlação obtido é $\hat{\rho}(-8) \approx -0,27$ no primeiro movimento de descida da cotação do API2, mas ligeiramente inferior ($\hat{\rho}(-60) \approx -0,25$) quando se verifica o movimento de subida.

3.3.1 Resumo de resultados

Os resultados para a totalidade dos testes realizados são apresentados no Apêndice E. No quadro

Variáveis	Correlação	
	Intensidade	Sentido
Produção Térmica - Carvão	Forte	Positivo
Produção Térmica - CCGN		
Produção Hídrica - Albufeira		
Produção Hídrica - Fio de Água		Positivo
Consumo	Moderada	
Produção Hídrica - Albufeira		
PRE - Eólica		
Velocidade do Vento		Negativo
Importação		
PRE - Hidráulica		
PRE - Fotovoltaica		
PRE - Térmica		
Temperatura Mínima		
Temperatura Média		
Temperatura Máxima	Fraca	Positivo
Precipitação		
Cotação do <i>Brent</i>		
Cotação do Fuelóleo		
Cotação do Gás Natural		
Cotação do Carvão		

Quadro 3.2 Resumo da correlação entre as variáveis selecionadas e o Preço de Mercado na globalidade dos testes realizados no intervalo de tempo em estudo.

3.4 Causalidade

Os resultados apresentados para a avaliação de relações de causalidade entre pares de variáveis, foram obtidos através do algoritmo inicialmente desenvolvido por Chandler Lutz (2009) [23]. O autor usa como método de determinação do *lag* ótimo o critério de informação de Schwartz já apresentado na subsecção 2.3.1 dado pela Equação (2.17). O algoritmo tem como parâmetros de entrada dois vetores coluna com os valores observados das séries em análise, o nível de confiança e o número máximo para o *lag*. Como parâmetros de saída, o algoritmo fornece o valor da estatística de teste, o valor crítico, valor de prova, SBIC e *lag* ótimo.

A metodologia aplicada, na avaliação de causalidade, não é tão detalhada e exaustiva

Tabela 3.6 Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores horários das séries estudadas.

Variável	Y causa à <i>Granger X</i>	X causa à <i>Granger Y</i>	Sentido de Causalidade
$[h]Prd_C^{(1)}$	59,190[1,721]	33,655[1,518]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_C^{(1)}$
$[h]Prd_{CCGN}^{(1)}$	46,820[2,215]	14,519[1,518]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{CCGN}^{(1)}$
$[h]Prd_{Alb}^{(1)}$	16,063[1,518]	24,688[1,507]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{Alb}^{(1)}$
$[h]Prd_{Fog}^{(1)}$	25,013[3,842]	18,122[1,496]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{Fog}^{(1)}$
$[h]I^{(1)}$	12,055[1,430]	16,922[1,496]	$[h]I^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_C^{(1)}$
$[h]Prd_{PREH}^{(1)}$	15,736[1,437]	15,504[1,556]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{PREH}^{(1)}$
$[h]Prd_{PRET}^{(1)}$	15,736[1,437]	15,504[1,556]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{PRET}^{(1)}$
$[h]Prd_{PREE}^{(1)}$	26,504[1,571]	23,168[2,605]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{PREE}^{(1)}$
$[h]Prd_{PREF}^{(1)}$	29,980[1,556]	16,118[1,789]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]Prd_{PREF}^{(1)}$
$[h]C^{(1)}$	36,658[1,417]	37,450[1,486]	$[h]P_m^{(1)} \Leftrightarrow [h]C^{(1)}$

Nota: Valores apresentados são a estatística de teste da distribuição F . Em parênteses estão os valores críticos (vc) do teste. $n \Rightarrow$ significa rejeição da hipótese nula de não causalidade para um nível de significância de 5%.

como o realizado na avaliação de correlação no que diz respeito com os diversos intervalos de tempo considerados. Acrescenta-se, no entanto, uma análise com os valores semanais e mensais das séries estudadas em complemento da análise com os valores horários (quando aplicável) e valores médios diários. O principal interesse neste tipo de abordagem consiste no facto da possibilidade de se poder testar a relação de causa e efeito pares de variáveis considerando uma dependência de médio prazo ou médio-longo prazo. As Tabelas 3.6, 3.7, F.1 e F.2 apresentam os resultados obtidos com os valores horários, diários, semanais e mensais, respectivamente.

Os resultados indicam bicausalidade entre todas as variáveis quando considerados os valores horários das séries. Já com os valores médios diários não se verifica o mesmo comportamento causal entre as variáveis com apenas duas variáveis apresentam causalidade no dois sentidos.

A bidirecionalidade do Consumo e o Preço de Mercado $F_{obs} = 13,023$ no sentido $C \Leftrightarrow P_m$ e $F_{obs} = 3,942$ no sentido $P_m \Rightarrow C$ ($vc = 2,022$ e $vc = 3,855$, respectivamente) poderá ser explicado pela sensibilidade que o preço de mercado tem em relação ao consumo em períodos de maior procura, onde, pequenas variações no Consumo podem implicar a necessidade de produção de energia elétrica por unidades com custos de produção mais elevados, ou seja, o ponto de encontro de mercado (ver Figura 1.1) na curva agregador das ofertas de compra e venda de eletricidade desloca-se no sentido

positivo.

Para a variável com maior coeficiente de correlação (Prd_C) não existe causalidade à Granger no sentido Prd_C para o P_m , mas existe em sentido contrário ($F_{obs}=33,655$, $vc = 1,518$). Significa que alterações na produção de energia por centrais térmicas a carvão não causam à Granger o preço de eletricidade, mas que o P causa à Granger a Prd_C . O teste de causalidade de Granger identifica uma relação oposta no sentido da relação causal com os dados semanais. Ou seja, num cenário semanal quantidade de eletricidade produzida por centrais térmicas a carvão causa à Granger o Preço de Mercado.

Com a ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ verifica-se ausência de causalidade com o ${}_{[d]}P_m^{(1)}$, muito embora se tenha encontrado valores de correlação moderados entre estas variáveis durante alguns períodos. Também com ausência de causalidade temos as variáveis ${}_{[d]}Prd_{PREF}^{(1)}$, ${}_{[d]}T_{max}^{(1)}$, ${}_{[d]}R^{(1)}$ e todas as variáveis do grupo (ii) e verificam-se com a utilização dos dados semanais e diários. Com todas estas variáveis o coeficiente de correlação verificado é fraco pelo que, a ausência de relação entre estas variáveis e o Preço de Mercado, é validada por este teste.

Com os dados diários podemos encontrar no sentido do Preço de Mercado as variáveis ${}_{[d]}Prd_{Alb}^{(1)}$, ${}_{[d]}Prd_{Fag}^{(1)}$, ${}_{[d]}Prd_{PREH}^{(1)}$, ${}_{[d]}T_{med}^{(1)}$ e ${}_{[d]}T_{min}^{(1)}$. Se, para as três primeiras variáveis se aceita o sentido da relação, o mesmo não se poderá aplicar à temperatura média e mínima diárias. O sentido de causalidade encontrado significa admitir que alterações do Preço de Mercado tem impacto direto na temperatura em Portugal o que se revela pouco provável. Esta relação poderá estar influenciada por uma terceira variável comum ao Preço de Mercado e à temperatura. Esta variável comum poderá ser o Consumo pois, como já identificado, existe relação de causa e efeito entre o consumo e preço da eletricidade. Também entre o consumo e a temperatura do ar será de esperar uma relação uma vez que o consumo é tendencialmente superior nos períodos mais frios (ver Figura A.2). Com os dados semanais verifica-se ausência de causalidade com a temperatura (mínima, média e máxima) e o Preço de Mercado, mas verifica-se que ${}_{[s]}P_m^{(1)}$ causa à Granger a ${}_{[s]}R^{(1)}$. Estamos novamente na presença de um resultado que levanta algumas reservas no estabelecimento de uma relação causal. O coeficiente de correlação obtido com a ${}_{[d]}R^{(1)}$ não revelou significativo na maioria dos cenários testados, sendo a exceção o verificado em períodos com maior precipitação ($\hat{\rho}(6) \approx -0,48$).

No mesmo sentido de causalidade do ${}_{[d]}P_m^{(1)}$ temos as variáveis ${}_{[d]}I^{(1)}$, ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ e ${}_{[d]}v_V^{(1)}$. O facto da quantidade de energia importada causar à Granger o preço da eletricidade poderá estar relacionada com a existência de energia elétrica com custo marginal mais baixo (centrais nucleares). Com os dados semanais não existe causalidade à Granger entre ${}_{[s]}I^{(1)}$ e ${}_{[s]}P_m^{(1)}$ o que implicará uma maior relevância na relação entre estas duas variáveis com os valores horários. ${}_{[d]}Prd_{PREE}^{(1)}$ e ${}_{[d]}v_V^{(1)}$ são duas variáveis relacionada por natureza (a quantidade de energia eólica produzida depende da existência de condições atmosféricas favoráveis - vento). Os valores de correlação para estas duas variáveis revelam um correlação negativa moderada com o

$[d]Prd_{PREE}^{(1)}$ pelo que, se pode considerar que a velocidade do vento e a quantidade de energia eólica produzida causam à Granger o preço da eletricidade.

Tabela 3.7 Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios diários das séries estudadas.

Variável	Y causa à <i>Granger</i> X	X causa à <i>Granger</i> Y	Sentido de Causalidade
$[d]Prd_C^{(1)}$	0,178[3,854]	10,438 [3,854]	$[d]Prd_C^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]Prd_C^{(1)}$
$[d]Prd_{CCGN}^{(1)}$	2,865[3,854]	0,341[3,855]	$[d]P_m^{(1)} \not\Rightarrow [d]Prd_{CCGN}^{(1)}$
$[d]Prd_{Alb}^{(1)}$	2,992[3,854]	18,787 [2,111]	$[d]Prd_{Alb}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]Prd_{Alb}^{(1)}$
$[d]Prd_{Fag}^{(1)}$	0,051[3,854]	11,698 [2,111]	$[d]Prd_{Fag}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]Prd_{Fag}^{(1)}$
$[d]I^{(1)}$	19,676 [3,854]	3,477[3,854]	$[d]I^{(1)} \Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \not\Rightarrow [d]I^{(1)}$
$[d]Prd_{PREH}^{(1)}$	3,833[3,854]	15,163 [3,854]	$[d]Prd_{PREH}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]Prd_{PREH}^{(1)}$
$[d]Prd_{PRET}^{(1)}$	12,600 [2,022]	4,800 [3,854]	$[d]Prd_{PRET}^{(1)} \Leftrightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]Prd_{PREE}^{(1)}$	13,165 [3,854]	1,670[3,854]	$[d]Prd_{PREE}^{(1)} \Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \not\Rightarrow [d]Prd_{PREE}^{(1)}$
$[d]Prd_{PREF}^{(1)}$	1,608[3,854]	0,711[3,855]	$[d]Prd_{PREF}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]C^{(1)}$	13,023 [2,022]	3,942 [3,855]	$[d]C^{(1)} \Leftrightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]T_{med}^{(1)}$	0,236[3,855]	11,027 [3,855]	$[d]T_{med}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]T_{med}^{(1)}$
$[d]T_{max}^{(1)}$	0,044[3,855]	3,202[3,855]	$[d]T_{max}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]T_{min}^{(1)}$	0,384[3,855]	4,142 [3,855]	$[d]T_{min}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \Rightarrow [d]T_{min}^{(1)}$
$[d]v_V^{(1)}$	10,296 [3,855]	0,506[3,855]	$[d]v_V^{(1)} \Rightarrow [d]P_m^{(1)}$ $[d]P_m^{(1)} \not\Rightarrow [d]v_V^{(1)}$
$[d]R^{(1)}$	0,240[3,855]	3,559[3,855]	$[d]R^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]C_{Brent}^{(1)}$	0,804[3,878]	1,211[3,878]	$[d]C_{Brent}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$
$[d]C_{FO}^{(1)}$	0,618[3,878]	1,689[3,878]	$[d]C_{FO}^{(1)} \not\Rightarrow [d]P_m^{(1)}$

Continua na próxima página

Tabela 3.7 – Continuação da página anterior

Variável	Y causa à <i>Granger</i> X	X causa à <i>Granger</i> Y	Sentido de Causalidade
${}_{[d]}C_{GN}^{(1)}$	0,635[3,878]	0,300[3,878]	${}_{[d]}C_{GN}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[d]}P_m^{(1)}$
${}_{[d]}C_{API2}^{(1)}$	0,615[3,878]	2,090[3,878]	${}_{[d]}C_{API2}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[d]}P_m^{(1)}$

Nota: Valores apresentados são a estatística de teste da distribuição F . Em parênteses estão os valores críticos do teste (vc). $n \Rightarrow$ significa rejeição da hipótese nula de não causalidade para um nível de significância de 5%.

As variáveis do grupo (iii)⁴ com os valores médios semanais têm, no teste de causalidade de Granger, resultados diferentes. Verifica-se bidirecionalidade entre o ${}_{[s]}C_{Brent}^{(1)}$, ${}_{[s]}C_{FO}^{(1)}$ e ${}_{[d]}C_{GN}^{(1)}$, enquanto que ${}_{[s]}C_{API2}^{(1)}$ causa à Granger o ${}_{[s]}P_m^{(1)}$. Estas variáveis são representativas das matérias primas necessárias a produção de energia elétrica segundo as respectivas tecnologias de produção. Desde logo a cotação do carvão que causa à Granger o Preço de Mercado que é consistente com a relação encontrada para a quantidade de energia produzida por centrais térmicas a carvão. Uma eventual justificação para a ausência de causalidade de Granger com os valores observados com base diária poderá ser determinada pelo facto da maioria dos contratos de fornecimento destas energias primárias serem de médio ou longo prazo. Não se encontram, portanto, susceptíveis a variações de curto prazo. A evolução da cotação das energias primárias terá repercussão nos custos marginais no médio prazo.

3.5 Previsão

De acordo com Johnston e DiNardo (2001), a modelação de um processo autorregressivo engloba três passos:

1. Garantir a estacionariedade das séries;
2. Usando as propriedades da função de autocorrelação da série transformada (caso necessário), escolher algumas especificações para a estimação e diagnóstico;
3. Calcular previsões para um horizonte relevante para a especificação selecionada.

⁴Para estas variáveis não se aplica o teste de Granger com os dados mensais devido ao reduzido número de valores observados.

Tabela 3.8 Modelos ARX(p, q_1, \dots, q_k) com $p, q_k = 1, 2, \dots, 5$

	k	Modelo	AIC	t
Modelo A	1	ARX(5,5)	2,987	0,40
Modelo B	2	ARX(5,2,4)	2,979	0,59
Modelo C	3	ARX(5,5,2,5)	2,862	1,10
Modelo D	4	ARX(5,5,2,5,5)	2,858	3,34
Modelo E	5	ARX(5,5,1,4,5,2)	2,747	14,65
Modelo F	6	ARX(5,5,1,4,5,2,2)	2,733	71,53
Modelo G	7	ARX(5,5,1,4,5,2,2,2)	2,733	385,09

Nota: t representa o tempo de execução (em segundos) utilizado para encontrar o grau do modelo que minimiza o AIC em função do número de variáveis exógenas consideradas. Tempo de execução com processador Intel Core2Duo 2,00 GHz e 4,00 GB de memória RAM.

Identificação, Estimação e Adequabilidade

O modelo que se pretende ajustar tem como objectivo a previsão de curto e médio prazo para o preço eletricidade em mercado livre, em ciclo diário fora de vazio (ver subcapítulo 3.1). Deste modo, os valores utilizados no ajuste do modelo são os valores horários das variáveis consideradas em dia útil no período das 7:00h às 22:00h, totalizando 7830 observações válidas de 2012 e 2013.

A especificação do modelo ARX(p, q_1, \dots, q_k) baseou-se num processo de construção do simples para o complexo. Ou seja, teve início com apenas uma variável exógena ($k = 1$) até ao total de sete variáveis consideradas. A ordem do modelo foi determinada pelo valor do critério AIC, determinado pela Equação (2.18) apresentada no subcapítulo 2.3.1, fazendo variar o grau do operador *Lag* de 1 a 5. A Tabela 3.8 resume o valores obtidos para o critério selecionado para cada modelo.

A Tabela 3.8 mostra que à medida que se adicionam mais variáveis exógenas no modelo o critério de informação de Akaike diminui. O modelo ARX que minimiza o valor AIC é ARX(5, 5, 1, 4, 5, 2, 2, 2) (Modelo G) com todas as variáveis consideradas incluídas no modelo. É, no entanto, possível identificar um modelo de menor complexidade que obtém desempenho idêntico com menos uma variável ($k = 6$). O segundo melhor valor é conseguido com $k = 5$ sem perda significativa do AIC. Este modelo poderá significar um melhor compromisso entre a qualidade de ajuste do modelo e o princípio da parcimónia⁵[15].

⁵Princípio da parcimónia - De acordo com Weron (2006), o processo de ajuste é baseado neste princípio, onde, segundo o mesmo autor, o melhor modelo é o mais simples possível, ou seja, o modelo com o menor número de parâmetros que descreve adequadamente os dados (tradução própria).

A expressão que define matematicamente os dois modelos identificados, – [Modelo E: ARX($p, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$) e Modelo F: ARX($p, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$)] onde $q_k, k = 1 : 6$ representa a ordem dos polinómios correspondentes a cada uma das variáveis ($\bar{V}_{[h]}Prd_C^{(0)}, \bar{V}_{[h]}Prd_{PREE}^{(0)}, \bar{V}_{[h]}C^{(0)}, \bar{V}_{[h]}Prd_{CCGN}^{(0)}, \bar{V}_{[h]}Prd_{ALB}^{(0)}, \bar{V}_{[h]}Prd_{Fio}^{(0)}$ e $\bar{V}_{[h]}v_V^{(0)}$) é a seguinte,

$$\begin{aligned}
A(L) &= 1 - \alpha_1 P_{t-1} + \alpha_2 P_{t-2} + \alpha_3 P_{t-3} + \alpha_4 P_{t-4} + \alpha_5 P_{t-5} \\
B^1(L) &= \beta_0 Prd_{C_t} + \beta_1 Prd_{C_{t-1}} + \beta_2 Prd_{C_{t-2}} + \beta_3 Prd_{C_{t-3}} + \beta_4 Prd_{C_{t-4}} \\
B^2(L) &= \beta_0 Prd_{PREE_t} \\
B^3(L) &= \beta_0 C_t + \beta_1 C_{t-1} + \beta_2 C_{t-2} + \beta_3 C_{t-3} \\
B^4(L) &= \beta_0 Prd_{CCGN_t} + \beta_1 Prd_{CCGN_{t-1}} + \beta_2 Prd_{CCGN_{t-2}} + \beta_3 Prd_{CCGN_{t-3}} + \\
&\quad \beta_4 Prd_{CCGN_{t-4}} \\
B^5(L) &= \beta_0 Prd_{ALB_t} + \beta_1 Prd_{ALB_{t-1}} + \beta_2 Prd_{ALB_{t-2}} + \beta_3 Prd_{ALB_{t-3}} + \beta_4 Prd_{ALB_{t-4}} + \\
&\quad \beta_5 Prd_{ALB_{t-5}} \\
B^6(L) &= \beta_0 Prd_{Fio_t} + \beta_1 Prd_{Fio_{t-1}}
\end{aligned}$$

e para o modelo F acresce:

$$B^7(L) = \beta_0 v_{V_t} + \beta_1 v_{V_{t-1}}$$

os coeficientes da matriz A e B^i são apresentados em anexo próprio (Anexo G) cuja estimação dos parâmetros foi por aplicação do método dos Mínimos Quadrados Ordinários.

No que respeita à adequabilidade, para grande parte dos modelos estimados os pressupostos de normalidade, ausência de autocorrelação e ausência de heterocedasticidade condicionada dos resíduos foram verificados. O único pressuposto não verificado em todos os modelos foi o que diz respeito à autocorrelação. Este problema poderia ser resolvido considerando um modelo do tipo ARMAX, no entanto, por uma questão de limitação de tempo deixou-se esta análise para um trabalho futuro.

Avaliação e Discussão

Na secção anterior ajustaram-se vários modelos com variáveis exógenas. Tal ajuste foi realizado tendo por base um conjunto de treino com 5481 valores observados, o que corresponde a 70% da amostra em estudo⁶.

Na avaliação da capacidade preditiva dos modelos selecionados foram consideradas as seguinte métricas, cuja expressão é:

⁶Conjunto da amostra considerando ciclo de consumo diário fora de vazio, representa 7830 valores observados para 522 dias úteis ($15 \times 522 = 7830$).

- Erro Percentual Absoluto Médio Simétrico (*Symmetric Mean Absolute Percent Error* - **SMAPE**⁷)

$$\text{SMAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|\hat{Y}_t - Y_t|}{\hat{Y}_t + Y_t}$$

- Erro Quadrático Médio (EQM)

$$\text{EQM} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{Y}_t - Y_t)^2$$

Nas expressões anteriores, Y_t é o valor observado e \hat{Y}_t é o valor estimado para o instante t .

A Tabela 3.9 fornece, para os dois modelos, os valores das métricas anteriores⁸ quando aplicados na avaliação da qualidade da previsão de mais um passo.

Tal como esperado a diferença de um modelo para o outro é pequena. O erro obtido no conjunto de validação é praticamente igual (SMAPE de 2,50% e 2,51%, para o modelo E e modelo F, respectivamente). No processo de avaliação dos modelos observa-se um decréscimo generalizado à medida que se aumenta a complexidade dos modelos ARX considerando o EQM. A métrica SMAPE não confirma este comportamento. Verifica-se que, para os Modelos B, C e D o valor SMAPE aumenta ligeiramente de 2,63% até 2,66%. Isto poderá indicar que as variáveis que se inseriram no modelo não tem grande participação da definição do preço da eletricidade.

Os resultados mostram que a variável $\bar{V}_{[h]} \text{Prod}_{PREE}^{(0)}$ parece não ser significativa. Quando, no Modelo E, se retira esta variável, que representa a produção em regime especial Eólica, o erro sobe para 2,56%.

Os resultados, apresentados anteriormente, baseiam-se na informação passada da variável dependente e em valores passados e presentes das restantes variáveis do modelo na previsão para a hora seguinte. Importa, contudo, referir que não se impôs qualquer restrição ao modelo no que respeita aos valores das variáveis exógenas consideradas, ou seja, o modelo incorpora os valores no instante em que se pretende realizar a previsão⁹. Na prática significa admitir que os valores no instante da previsão são dados modelos de

⁷SMAPE - é uma extensão do modelo mais conhecido de avaliação da previsão do erro, mas desaconselhado quando na presença de valores extremos ou com a presença de zeros na série (ou muito próximos de zero) [5]

⁸Ver G.1 para comparação de todos os modelos.

⁹A incorporação do instante em que se pretende realizar a previsão é consistente com os valores obtidos por aplicação do CCF onde os valores máximos se verificam com $h = 0$.

Tabela 3.9 Erro Percentual Absoluto Médio Simétrico (SMAPE) e Erro Quadrático Médio (EQM) para a hora seguinte do preço de mercado da eletricidade em Portugal para os anos 2012 e 2013. Conjunto de validação representa 30% da amostra estudada.

	Modelo E	Modelo F
	<i>Período fora de vazão de 25 maio de 2013-dezembro 2013</i>	
SMAPE	2,50%	2,51%
EQM	10,86	10,86

previsão ótimos que fornecem dados quase reais. Não será o mais indicado na medida em que se estaria a incorporar no modelo um erro associado à previsão dos valores de cada uma das variáveis. Para a construção de um modelo ARX apenas baseados no histórico de todas as variáveis adiciona-se a restrição que considere valores a partir do instante $t - 1$.

Como exemplo apresenta-se uma extensão do Modelo E com esta restrição (E_1). O modelo simplifica-se a um processo ARX(1, 2, 1, 5, 4, 1) com o erro a aumentar para 4,63% (EQM = 19,41). Este aumento seria expectável considerando os resultados da função de correlação cruzada onde o coeficiente de correlação $\hat{\rho}(-1)$ é fraco para todas as variáveis consideradas.

A Figura 3.10 ilustra a função CCF para a variável Consumo num dos cenários consideradas para análise apresentados anteriormente. É facilmente identificável que o máximo do CCF é com *lag* nulo mas, para $h = -1$, o coeficiente de correlação evidencia correlação fraca. Na mesma figura, podemos identificar valor de correlação próximos do valor máximo com periodicidade definida, ou seja, verifica-se correlação moderada positiva com $h = t - 15\delta$, com $\delta = 1, 2, \dots$. Na realidade é o mesmo que dizer que existe uma correlação moderada com o Preço de Mercado no instante t e o Consumo no mesmo instante em dias anteriores.

Para acomodar estas realidade apresenta-se uma nova extensão do Modelo E (Modelo E_2) com a restrição de considerar valores no mesmo instante do dia anterior resultam numa melhoria dos resultados com um erro médio absoluto percentual simétrico de 2,61% (EQM = 11,59) no conjunto de validação. O este modelo representa um processo ARX(1, 2, 2, 4, 2, 3) (AIC = 2,932). A expressão do modelo é:

$$\hat{P}_{m_t} = \alpha_1 P_{m_{t-1}} + \sum_{i=15}^{16} B^{q_1} Prd_{C_{t-i}} + \sum_{i=15}^{16} B^{q_2} Prd_{PREE_{t-i}} + \sum_{i=15}^{18} B^{q_3} C_{t-i} + \sum_{i=15}^{16} B^{q_4} Prd_{CCGN_{t-i}} + \sum_{i=15}^{17} B^{q_5} Prd_{ALB_{t-i}}$$

A Figura 3.11 ilustra o comportamento deste último modelo no período de validação

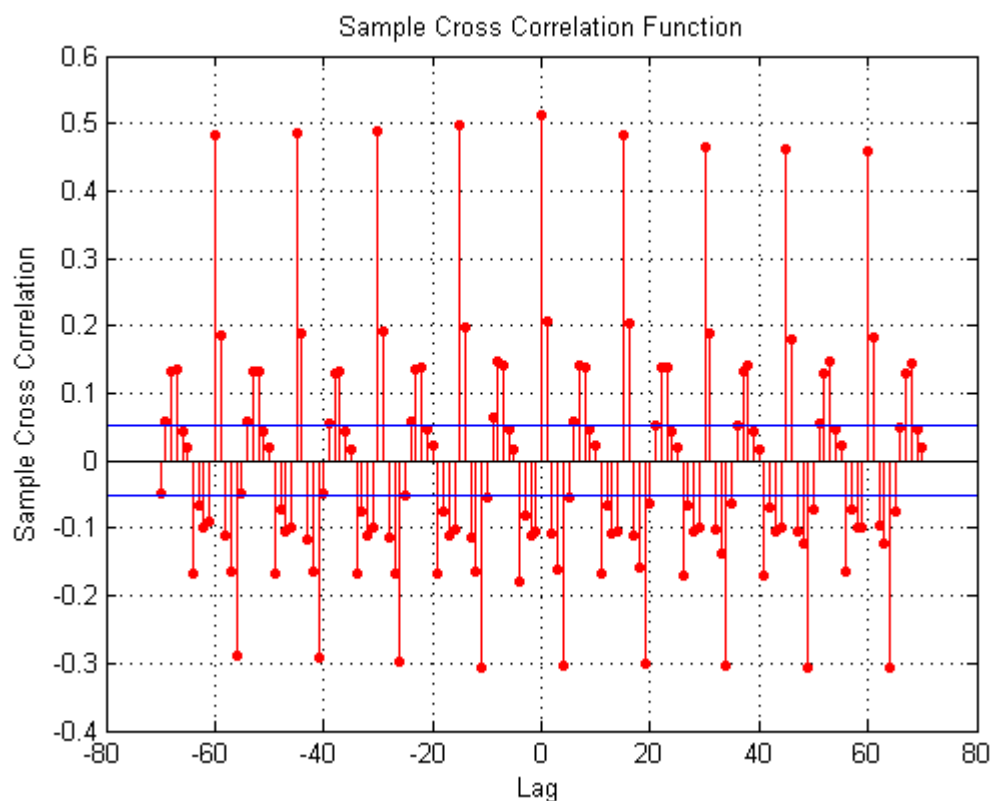


Figura 3.10 coeficiente de correlação cruzada da variável de interesse e o Consumo em Portugal em ciclo diário fora de vazio, para o período considerado como inverno [1/11/2012 - 31/05/2013]

face aos valores reais observados. Pode-se ainda verificar o comportamento do erro médio absoluto percentual simétrico diário (dSMAPE¹⁰) dos últimos 150 dias de 2013 (ver Figura 3.12). Há, claramente, dois dias que se destacam neste período de tempo. Desde logo, o dia de Natal, em que o padrão de consumo é típico de um dia fim de semana e, como o modelo foi estimando considerando o ciclo de consumo diário em fora de vazio, o aumento do erro é espectável. A Figura 3.13 mostra o comportamento do modelo em comparação com os valores reais nos meses onde se verifica maior dSMAPE no conjunto de validação.

Na realidade do MIBEL será mais adequada a previsão do preço de mercado da eletricidade para as 24 horas do dia seguinte. Esta realidade, adaptada ao nosso estudo, equivale à previsão para as 15 h do período fora de vazio, ou seja, em vez da previsão para o instante $P_{m_{t+1}}$ pretende-se a previsão no instante t para o $P_{m_{t+k}}$ com $k = 1, 2, \dots, 15$. Num cenário de previsão a curto-médio prazo, apresenta-se ainda a previsão para a cinco dias ($k = 75$) com base no modelo E_2 que representa uma previsão semanal (segunda a sexta-feira). Os resultados estão resumidos na tabela

$$^{10}\text{dSMAPE} = \frac{1}{15} \sum_{t=1}^{15} \frac{|\hat{Y}_t - Y_t|}{\hat{Y}_t + Y_t}$$

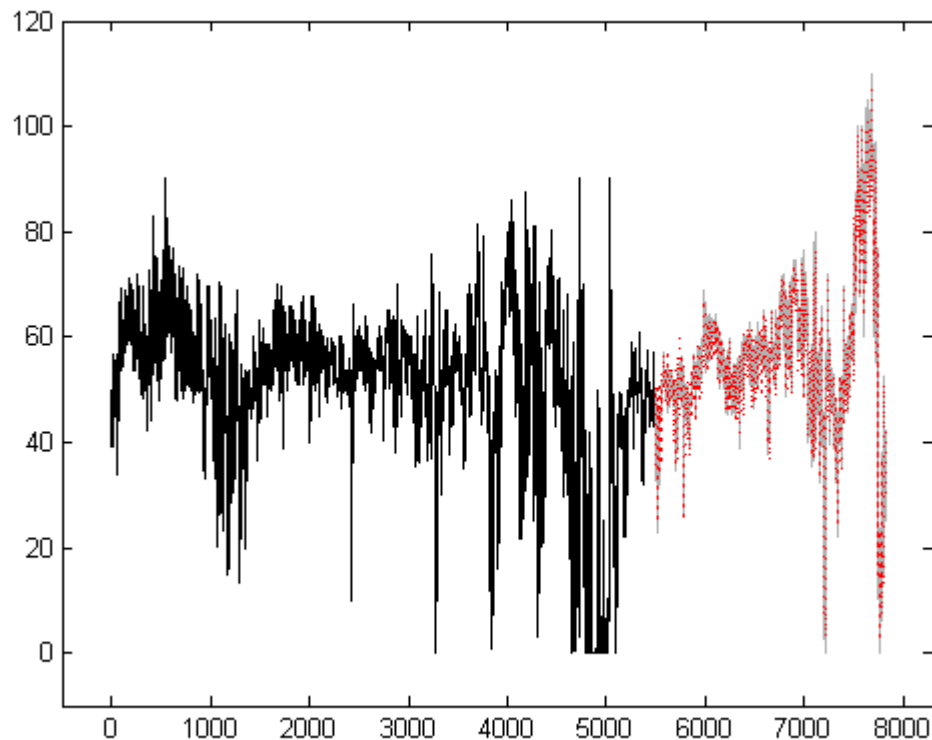


Figura 3.11 Preço de mercado horário em ciclo diário fora de vazio. Linha de traço contínuo representa os valores reais no período 2012-2013. Linha a traço interrompido representa o valor estimado pelo Modelo E_2 para o conjunto de validação - SMAPE = 2,61%

3.10.

A mesma tabela apresenta, ainda, o erro para cada semana no conjunto de validação considerado determinado pelo erro médio absoluto percentual simétrico semanal. ($wSMAPE^{11}$).

Como seria de esperar, comparativamente com os valores previsto pelo modelo E_2 , verifica-se um aumento das medidas de avaliação de desempenho utilizadas à medida em que se alarga o horizonte de previsão. A Figura 3.14 ilustra a evolução do preço de mercado previsto comparativamente com os dados reais verificados pelo Preço de Mercado e a Figura 3.15 mostra o desempenho do modelos por cada semana do conjunto de validação.

Mais uma vez se destaca a semana em que está inserido o dia atípico (Natal de 2013) que não se enquadra no princípio do modelo (fora de vazio). O erro nessa

¹¹ $wSMAPE = \frac{1}{75} \sum_{t=1}^{75} \frac{|\hat{Y}_t - Y_t|}{\hat{Y}_t + Y_t}$

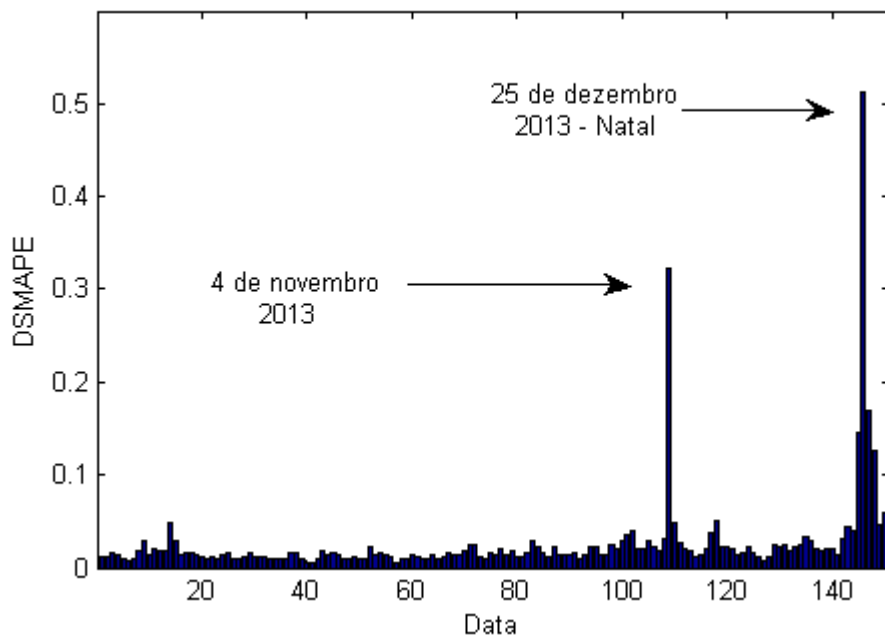


Figura 3.12 Erro médio absoluto percentual simétrico diário do conjunto de validação do modelo E_2 . Dias úteis de 5/jun/2013 a 31/dez/2013.

semana é de $wSMAPE \approx 28.0\%$. É possível, também, identificar nas últimas quatro semanas de 2013 um erro elevado que estará diretamente relacionado com o aumento da variabilidade verificada no mês de dezembro de 2013 com o Preço de Mercado. Com este horizonte de previsão o modelo não consegue captar as oscilações do mercado.

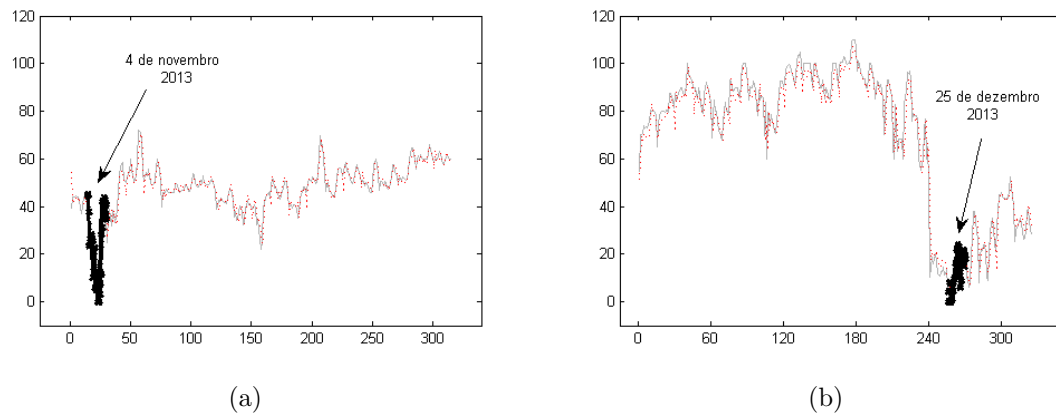


Figura 3.13 Comportamento do modelo no mês de novembro de 2013 (dSMAPE = 3,23%) (a); Comportamento do modelo no mês de dezembro de 2013 (dSMAPE = 5,12%) (b). Preço de mercado horário em ciclo diário fora de vazão. Linha de traço contínuo representa os valores reais; linha a traço interrompido representa o valor estimado pelo Modelo E_1 para o conjunto de validação.

Tabela 3.10 Resultados da previsão com o Modelo E_2 com um horizonte de k períodos para o conjunto de validação.

	$k = 15$	$k = 75$
SMAPE	7,77%	9,14%
EQM	136,78	194,02
wSMAPE	7,82%	9,24%
wEQM	139,40	197,87

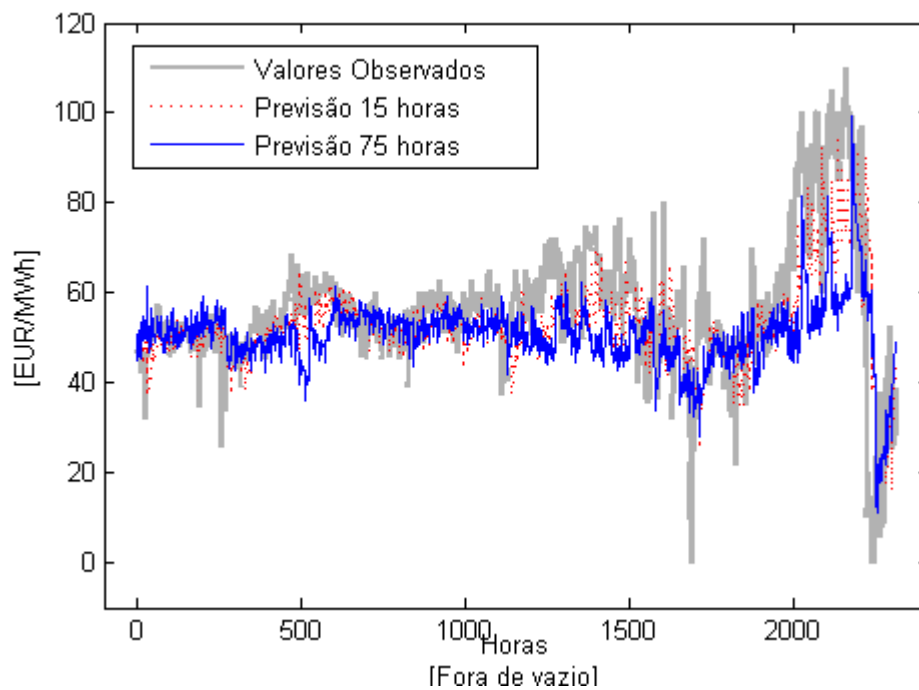


Figura 3.14 Previsão para o dia seguinte e para a semana seguinte com o Modelo E_2

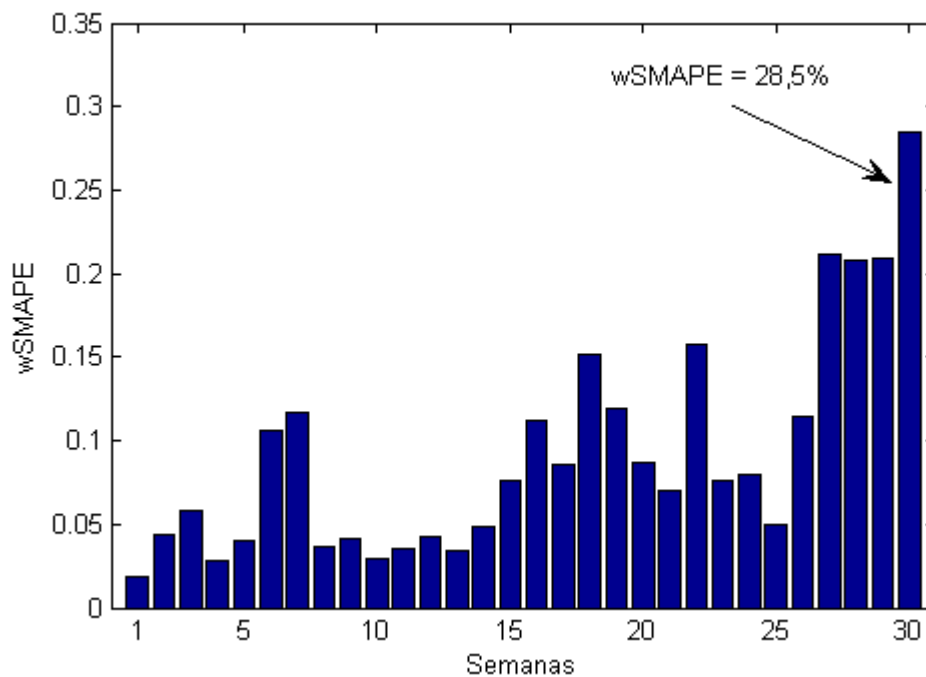


Figura 3.15 Erro médio absoluto percentual simétrico semanal do conjunto de validação do modelo E_2 . 30 últimas semanas de 2013.

Capítulo 4

Conclusões

Neste trabalho fez-se um estudo estatístico descritivo, correlacional e preditivo do preço da eletricidade num mercado livre.

Os resultados obtidos no estudo permitem retirar duas conclusões imediatas. A primeira é que a natureza e frequência dos dados utilizados, nem sempre, produz resultados consistentes com ligeiras variação nos ciclos de consumo identificados. A segunda, prende-se com facto de se considerar que nenhuma das variáveis, seleccionadas para este estudo, tem poder explicativo suficiente para, por si só, explicar o comportamento do Preço de Mercado da eletricidade em regime de mercado livre.

Foi possível, no entanto, identificar correlação linear e relações de causa efeito entre algumas das variáveis. Destaca-se os resultados obtidos com quantidade de eletricidade produzida por centrais térmicas a carvão com correlação positiva forte em vários cenários. No biénio em estudo a energia eléctrica produzida por centrais térmicas a carvão foi a mais utilizada com cerca de 1318,75 MWh que representa aproximadamente 23,59% da consumo em Portugal. Foi também a mais consistente em todos os cenários e a que se evidenciou mais constante na produção com apenas três horas (25 de dezembro de 2013) em que não houve produção por esta tecnologia. Esta relação linear identificada pela CCF foi validada pelo teste de causalidade de Granger que identifica uma relação causal entre o Preço de Mercado e esta variável.

Também com algum significado são as relações identificadas com o ${}_{[h]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ e ${}_{[d]}Prd_{CCGN}^{(1)}$ com correlação, na globalidade dos testes, positiva moderada. Deve-se, contudo, à relevância que teve durante o ano de 2012 com uma produção média três vezes superior ao verificado em 2013. Contudo, o teste de causalidade de Granger não identifica uma relação causal entre a quantidade de energia eléctrica produzida por centrais térmicas de ciclo combinado a gás natural e o preço de mercado. No âmbito dos produtores em regime especial destaca-se a produção eólica, cuja produção representou cerca de 22,2% do consumo em Portugal, com uma correlação negativa moderada e com o teste de Granger a indicar que esta variável tem impacto o Preço de Mercado. À semelhança desta, também a ${}_{[d]}v_V^{(1)}$ esta correlacionada negativamente

com o Preço de Mercado, significando que as séries se desenvolvem em sentidos opostos.

Com a exceção da ${}_d v_V^{(1)}$, os resultados obtidos com as variáveis relacionadas com o clima são de alguma forma inesperados, sobretudo com a temperatura. A temperatura surge variadas vezes na literatura, normalmente com grande importância, associado ao consumo de energia com a justificação que a temperatura provoca o aumento do consumo e, conseqüentemente, o aumento do preço. Tal não foi possível identificar no período de tempo analisado, pelo menos de forma evidente. Poderá justificar-se esta realidade por duas vias: Portugal continua a caracterizar-se por clima ameno onde o impacto de temperaturas extremas (verão e inverno) não implica o uso da eletricidade nas necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios da sua generalidade. Terá, com certeza, maior impacto em países com condições atmosféricas mais adversas (norte da Europa, por exemplo) e com outros hábitos de conforto; Razões de ordem socioeconómica poderão, também, justificar o facto, de em período de abrandamento económico, o conforto dentro dos edifícios ser um aspecto secundário.

Numa segunda fase do trabalho a atenção foi voltada para a previsão do preço da eletricidade. A solução obtida para a realização da previsão do preço de mercado teve por base os resultados obtidos na avaliação de correlação e causalidade por forma a verificar se os resultados obtidos se concretizam numa aplicação prática. O melhor modelo identificado foi um processo ARX(5, 5, 1, 4, 5, 2, 2, 2) identificado como Modelo G através do critério de informação escolhida. No entanto, de acordo com o princípio da parcimónia, considera-se os modelos E e F para a realização da previsão para a hora seguinte, onde o melhor valor foi obtido com o modelo F com um SMAPE de 2,50% no conjunto de validação. Não obstante, a utilização de todas as variáveis consideradas significativas, verificamos que o quando adiciona ao modelo a variável ${}_{[h]}Prd_{PRE_E}^{(1)}$ (modelo B) a medida de avaliação dá um erro superior. Isto significa que, no método de previsão escolhido, esta variável na qual identificamos correlação negativa moderado e uma relação causa e efeito deu um contributo negativo ao modelo quando o esperados seria que melhorasse a previsão. Na previsão diária e semanal (leia-se previsão para as 15 do período fora de vazio do dia seguinte e previsão a cinco dias) revela que o modelo teve uma capacidade de previsão razoável com SMAPE $\approx 7,77\%$ e SMAPE $\approx 9,14\%$, respectivamente.

Considerações finais e trabalho futuro

O conjunto de variáveis selecionadas para o estudo ficou condicionado ao acesso livre aos dados. Haverá, no entanto, um conjunto alargado e diferenciado de outras variáveis potencialmente interessantes com poder explicativos do Preço de Mercado da eletricidade, nomeadamente os custos de produção por tipo de unidade produtiva. A extensão deste estudo a períodos de tempo mais alargados e com características diferentes no que respeita, por exemplo, aos índices de hidraulicidade e eolicidade. O tamanho reduzido da amostra reunida não permitiu a avaliação de uma relação de longo prazo com as variáveis selecionadas, pelo que, a avaliação de cointegração entre as variáveis, será um possível desenvolvimento. O método de previsão apresentado não foi, por estar

fora do âmbito deste trabalho, devidamente aprofundado pelo que, o refinamento do modelo e a aplicação de outras técnicas de previsão (baseados em inteligência artificial, por exemplo) reverte-se da maior relevância no sentido de continuar o estudo sobre o Preço da Eletricidade em Portugal e as suas condicionantes.

Apêndice A

Variáveis

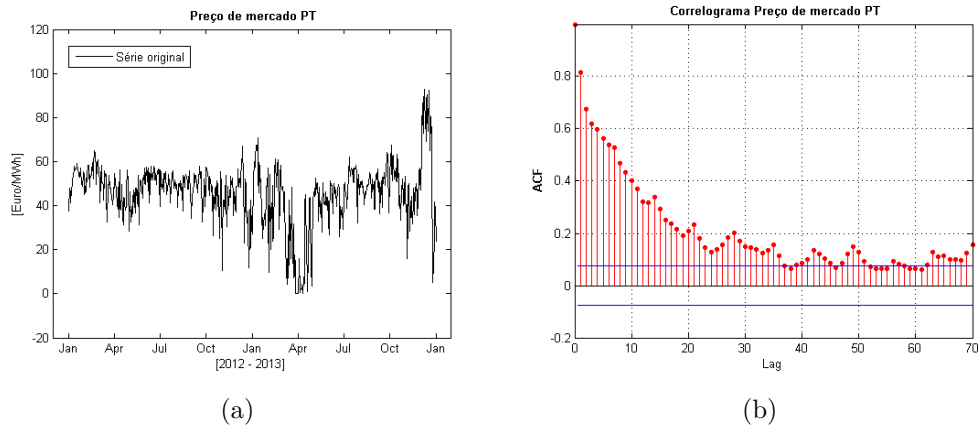


Figura A.1 Evolução ${}_dP_m^{(0)}$ em Portugal para o período 2012-2013 (a); Correlograma da ${}_dP_m^{(0)}$ (b).

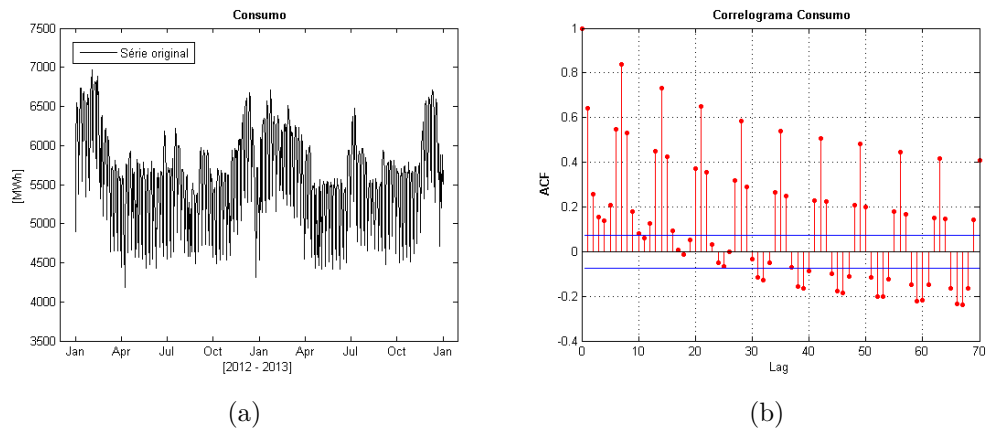


Figura A.2 Evolução ${}_dC^{(0)}$ em Portugal no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dC^{(0)}$ (b).

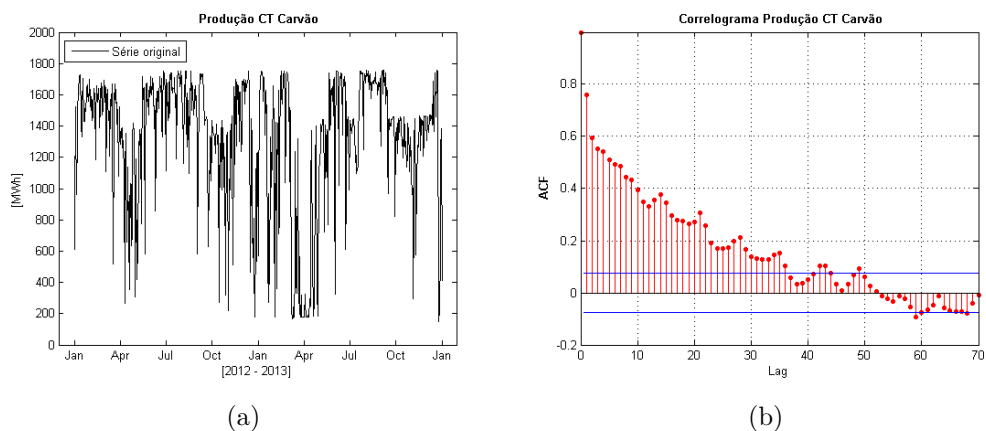


Figura A.3 Evolução da ${}_dPrd_C^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dPrd_C^{(0)}$ (b).

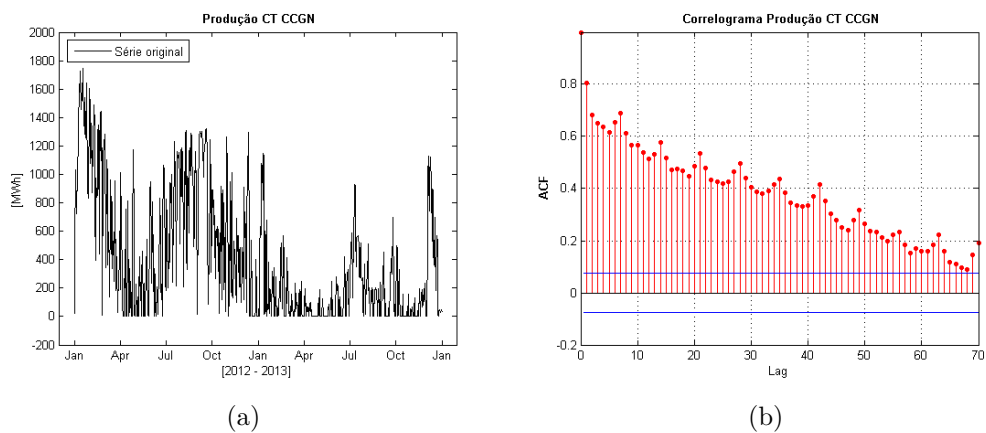


Figura A.4 Evolução ${}_dPrd_{CCGN}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dPrd_{CCGN}^{(0)}$ (b).

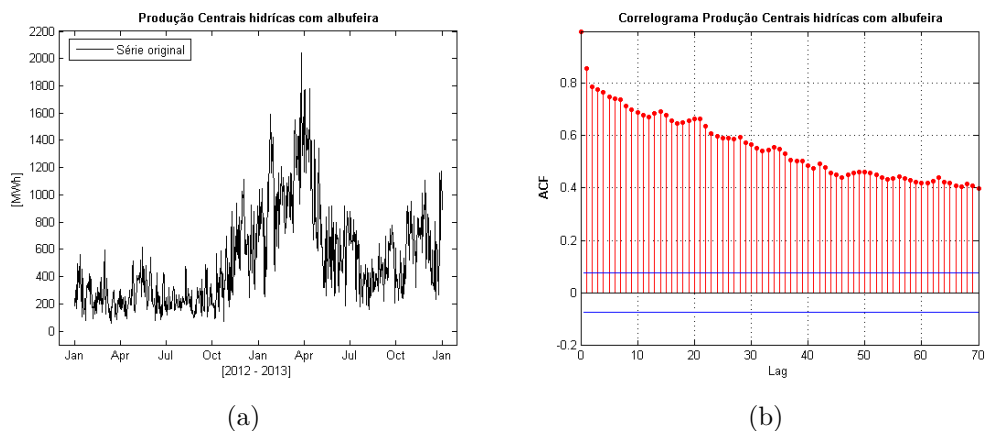


Figura A.5 Evolução ${}_dPrd_{Alb}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dPrd_{Alb}^{(0)}$ (b).

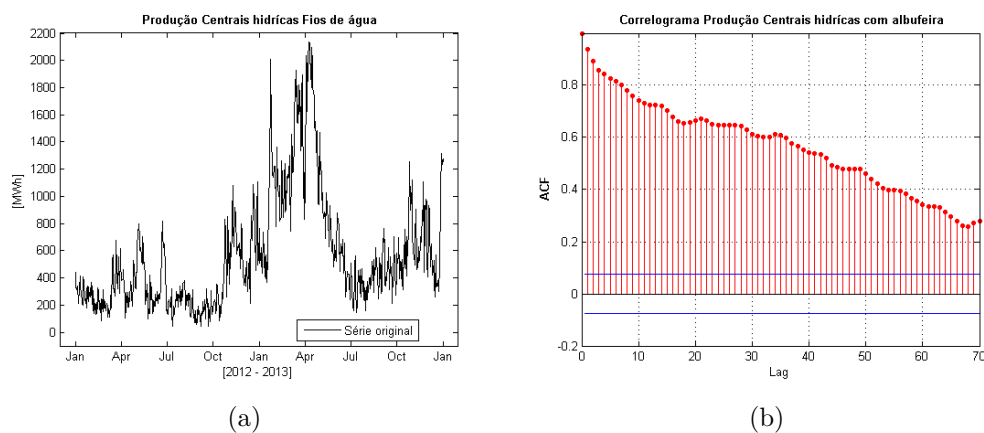


Figura A.6 Evolução ${}_dPrd_{F_{ag}}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dPrd_{F_{ag}}^{(0)}$ (b).

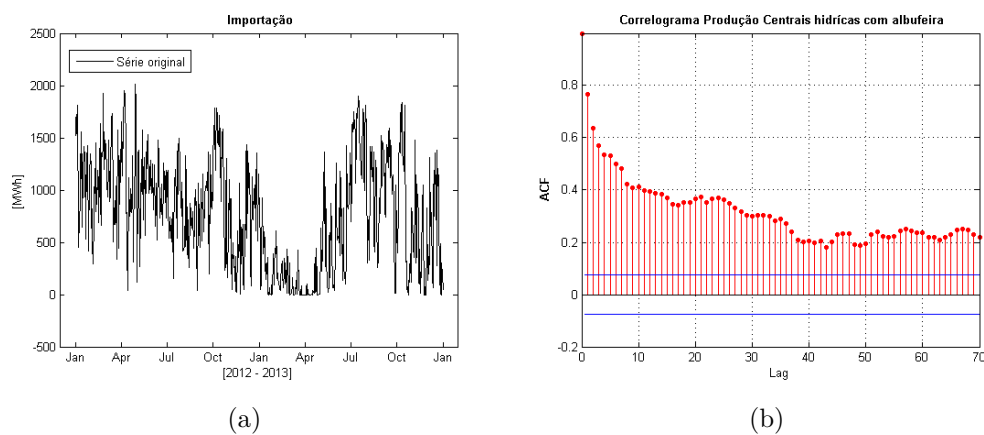


Figura A.7 Evolução ${}_dI^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dI^{(0)}$ (b).

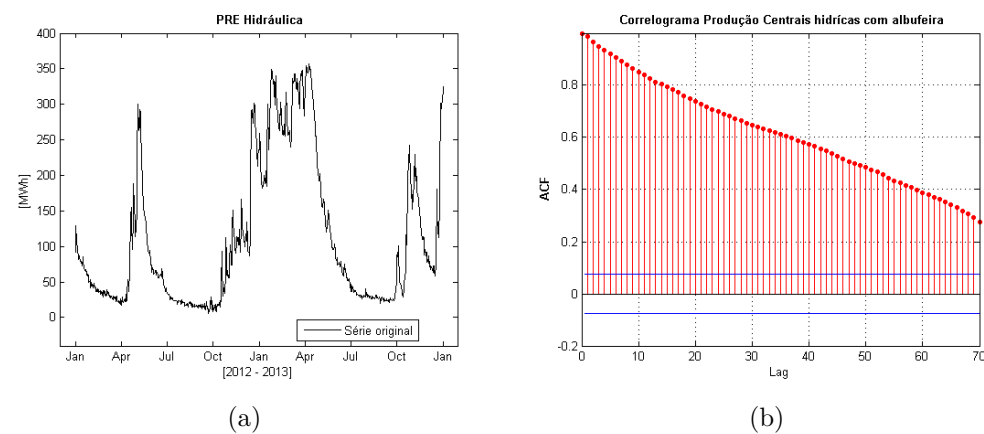


Figura A.8 Evolução ${}_dPrd_{PREH}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dPrd_{PREH}^{(0)}$ (b).

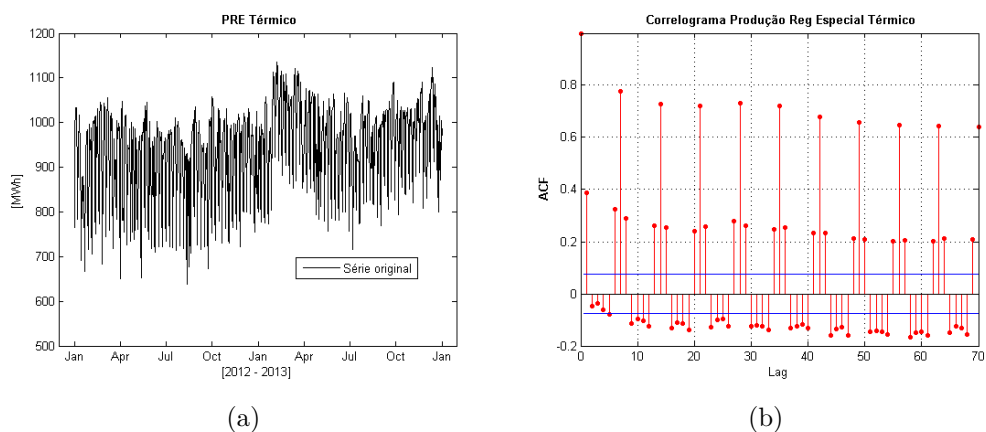


Figura A.9 Evolução $[_d]Prd_{PRE_T}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{PRE_T}^{(0)}$ (b).

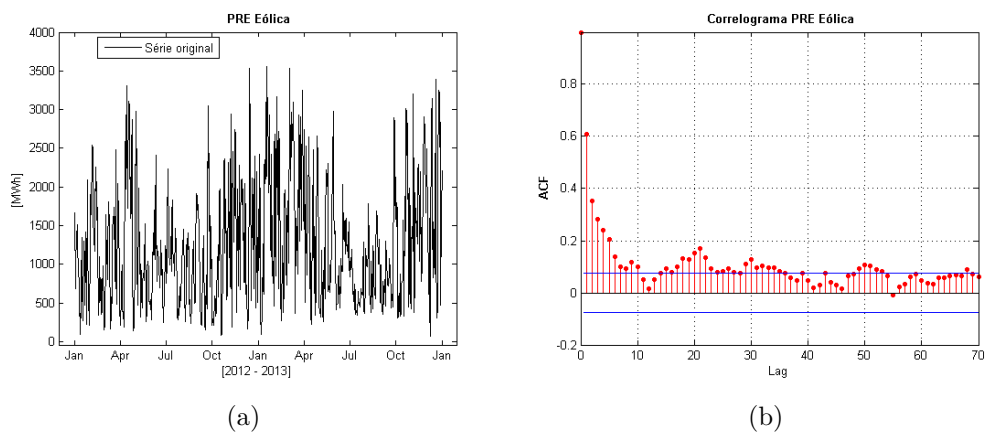


Figura A.10 Evolução $[_d]Prd_{PRE_E}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]Prd_{PRE_E}^{(0)}$ (b).

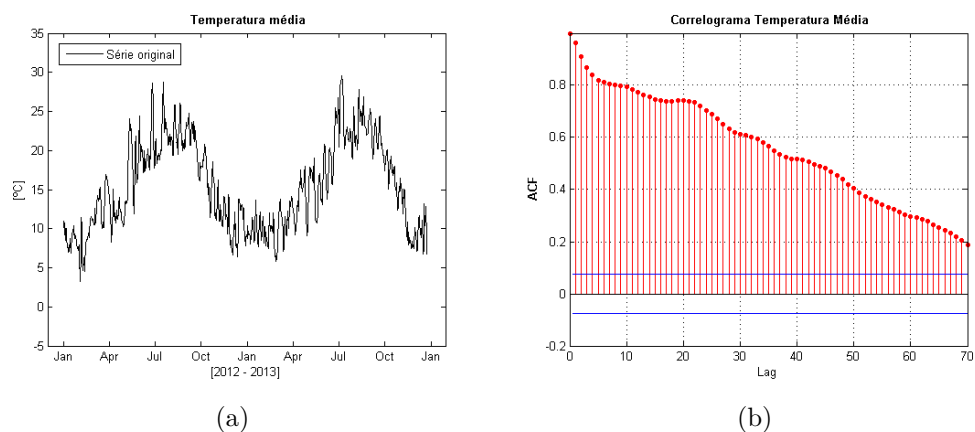


Figura A.11 Evolução $[_d]T_{med}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma $[_d]T_{med}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.

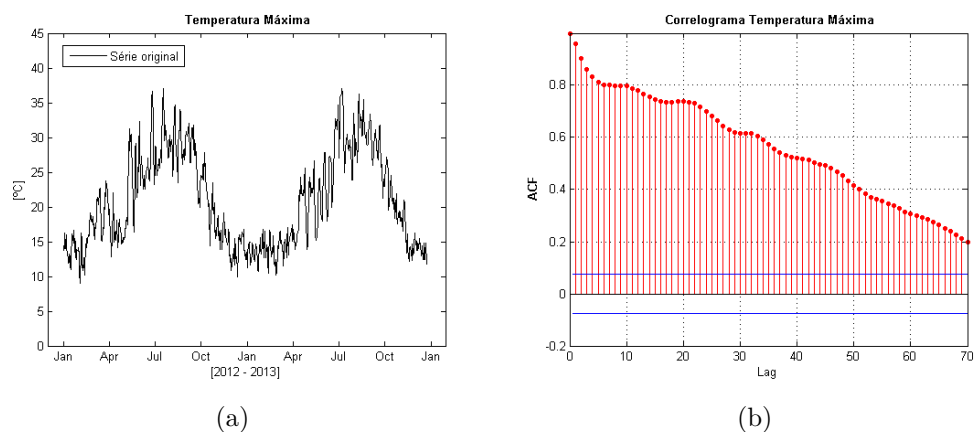


Figura A.12 Evolução ${}_d T_{max}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_d T_{max}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.

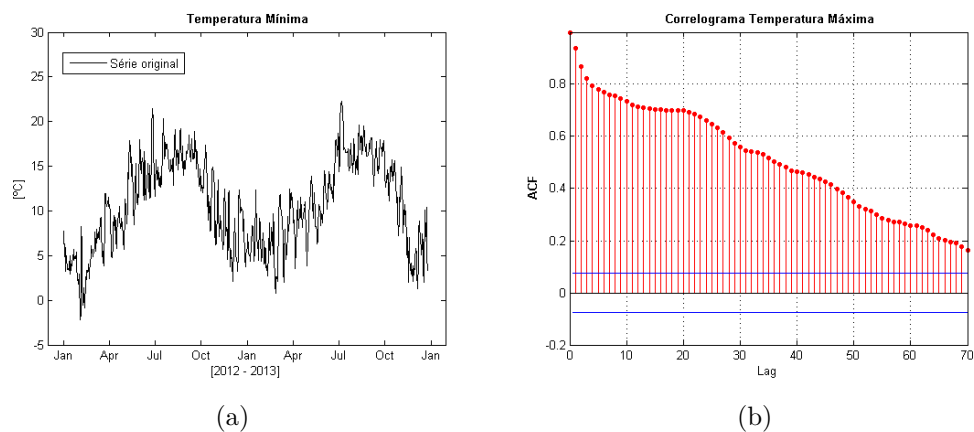


Figura A.13 Evolução ${}_d T_{min}^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_d T_{min}^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.

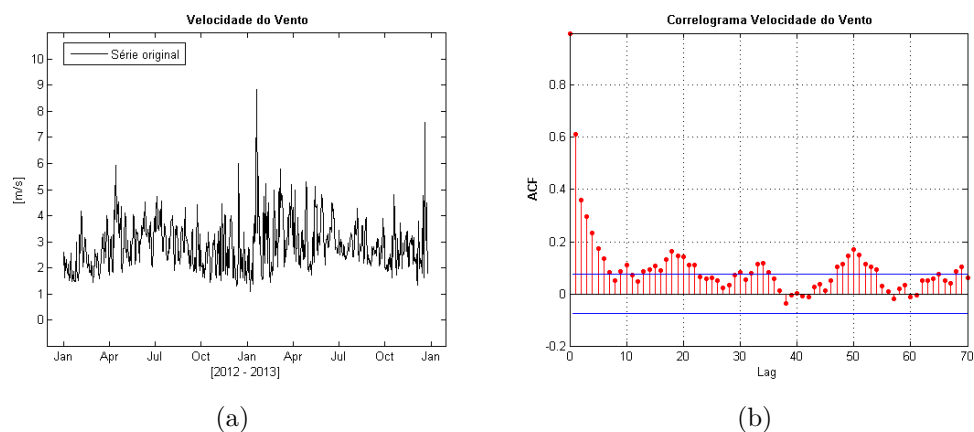


Figura A.14 Evolução ${}_d v_V^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_d v_V^{(0)}$ (b). Remoção do valores em falta. Série com 723 valores válidos.

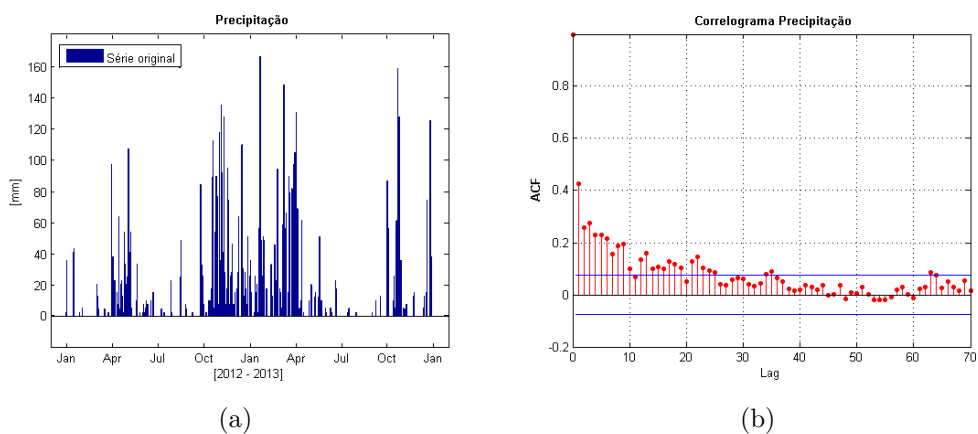


Figura A.15 Evolução ${}_dR^{(0)}$ no período 2012-2013 (a); Correlograma ${}_dR^{(0)}$ (b). Remoção dos valores em falta. Série com 723 valores válidos.

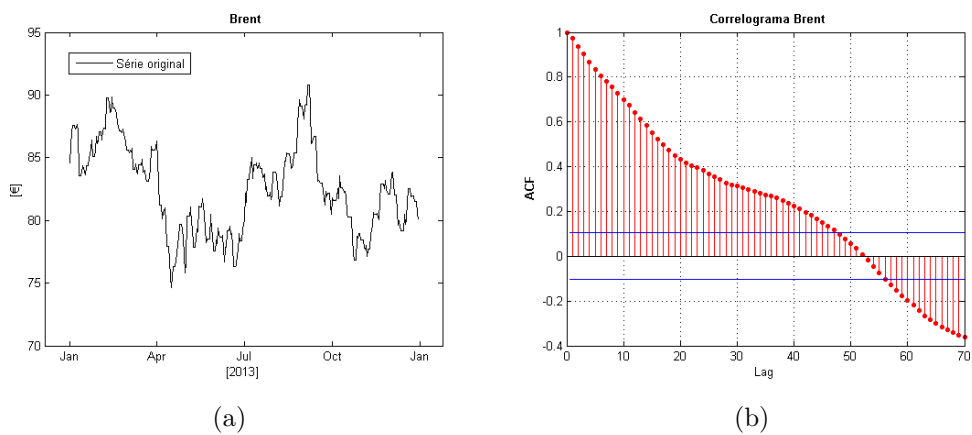


Figura A.16 Evolução ${}_dC_{Brent}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma ${}_dC_{Brent}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos

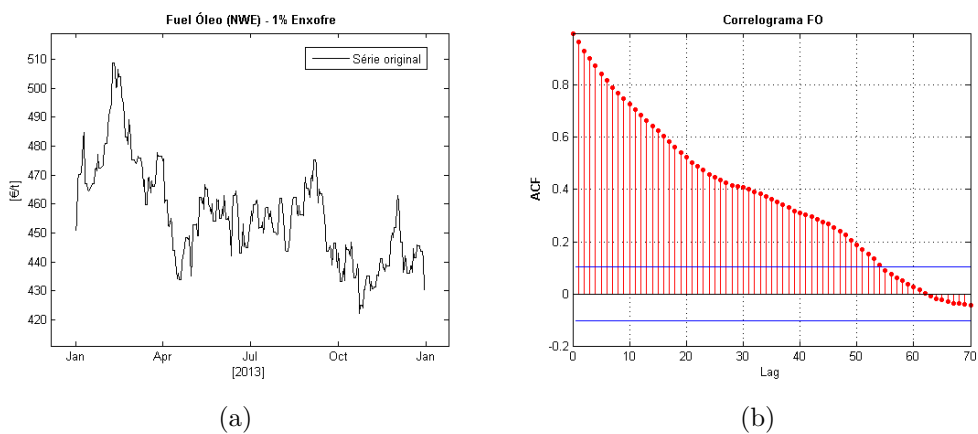


Figura A.17 Evolução ${}_dC_{FO}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma ${}_dC_{FO}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.

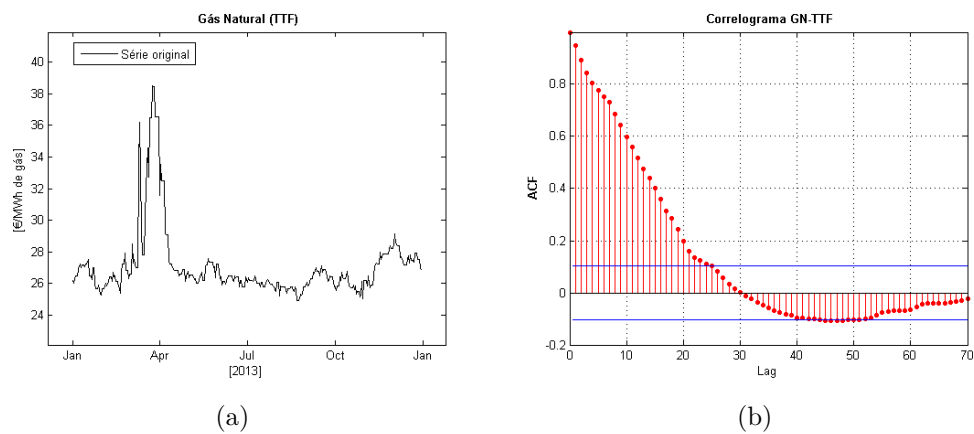


Figura A.18 Evolução ${}_dC_{GN}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma ${}_dC_{GN}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.

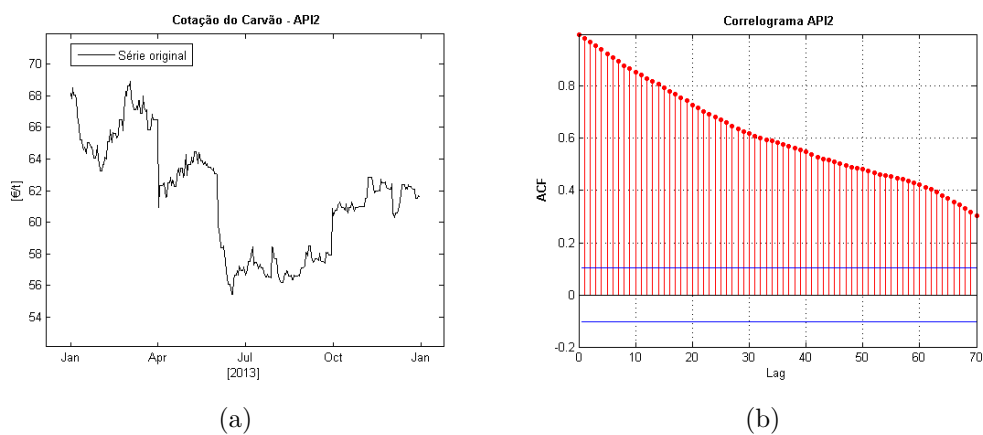


Figura A.19 Evolução ${}_dC_{API2}^{(0)}$ em 2013 (a); Correlograma ${}_dC_{API2}^{(0)}$ (b). Série com 254 valores válidos.

Apêndice B

Estações de Recolha de Dados Climatéricos

Nome	Latitude	Longitude
SAGRES	37,000000	-8,950000
LISBOA/PORTELA	38,766998	-9,133000
PORTO/PEDRAS RUBRAS	41,233002	-8,683000
FARO/AEROPORTO	37,016998	-7,967000
ÉVORA/	38,533001	-7,900000
BEJA	38,016998	-7,867000
VILA REAL	41,266998	-7,717000
CASTELO BRANCO	39,833000	-7,483000
BRAGANÇA	41,799999	-6,733000

Quadro B.1 Localização e coordenadas das estações de recolha de dados atmosféricos utilizados para o cálculo da média das variáveis do grupo II.

Apêndice C

Teste de Raiz Unitária - PP *test*

No subcapítulo 2.1 abordamos a temática da avaliação da estacionariedade de uma série pela aplicação de testes de raiz unitária, num modelo autorregressivo capaz de uma aproximação razoável do comportamento da série. Ainda neste subcapítulo, referimos a fraca potência dos testes estatísticos de raiz unitária e a importância da aceitação da estacionariedade das séries. Para ter a certeza da estacionariedade da série é usual a aplicação de, pelo menos, dois testes de raiz unitária. Assim, a Tabela D.1, apresenta os resultados da aplicação do PP *test* às séries representativas das variáveis estudadas em complemento ao ADF *test*.

O teste proposto por Peter Phillips e Pierre Perron é uma generalização do teste DF e a principal diferença é o tratamento dado ao facto da autocorrelação dos erros, ignorando-os na regressão de teste, e à hipótese de heteroscedasticidade [27] fazendo a sua correção diretamente por via de uma modificação da estatística DF. A estatística a calcular é:

$$Z_\tau = \sqrt{\frac{\hat{\gamma}_{0,n}}{\hat{\gamma}_n^2}} \cdot \frac{\hat{\rho} - 1}{\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}} - \frac{1}{2} (\hat{\gamma}_n^2 - \hat{\gamma}_{0,n}) \cdot \frac{1}{\hat{\gamma}_n} \frac{n\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}}{s_n} \quad (\text{C.1})$$

onde

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_{j,n} &= \frac{1}{n} \sum_{i=j+1}^n r_i r_{i-j} \\ \hat{\lambda}_n^2 &= \hat{\gamma}_{0,n} + 2 \sum_{j=1}^q \left(1 - \frac{j}{k+1}\right) \hat{\gamma}_{j,n} \\ s_n^2 &= \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n \hat{r}_i^2 \end{aligned} \quad (\text{C.2})$$

sendo que r_i é o resíduo usando estimadores de mínimos quadrados, k é o número de covariáveis na regressão, q é o número de *lags* usados para calcular $\hat{\lambda}_n^2$ e $\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}$ é o erro padrão de $\hat{\rho}$.

Erros não correlacionados significa que as covariâncias são zero, ou seja, $\hat{\gamma}_{j,n} = 0$ para $j > 0$. Assim, a Equação (C.2) fica reduzida a $\hat{\lambda}_n^2 = \hat{\gamma}_{0,n}$.

Substituindo na Equação (C.1) teremos:

$$Z_{\tau} = \frac{\hat{\rho} - 1}{\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}} \quad (\text{C.3})$$

que é o mesmo que a estatística apresentada na Equação (2.9) para o teste ADF.

Apêndice D

Resultados Raízes Unitárias

Tabela D.1 Resultados do teste de raízes unitárias

Variáveis	Teste <i>ADF</i>			Teste <i>PP</i>		
	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}
<i>P</i>						
Original	-3,11	-3,11*	-0,70	-8,52*	-8,49*	-2,41*
1ª Diferença	-7,32*	-7,35*	-7,36*	-30,29*	-30,30*	-30,33*
<i>C</i>						
Original	-3,93*	-3,98*	-0,58	-12,69*	-12,69*	-1,12
1ª Diferença	-5,26*	-5,21*	-5,21*	-25,99*	-26,00*	-26,02*
<i>Prd_C</i>						
Original	-3,23	-3,18*	-1,01	-9,89*	-9,80*	-2,84*
1ª Diferença	-5,94*	-5,95*	-5,95*	n/a	n/a	n/a
<i>Prd_{CCGN}</i>						
Original	-3,04	-3,04*	-2,64*	-10,67*	-8,81*	-6,28*
1ª Diferença	-6,11*	-6,01*	-5,95*	n/a	n/a	n/a
<i>Prd_{ALB}</i>						
Original	-2,16	-1,80	-0,55	-8,35*	-7,43*	-3,95*
1ª Diferença	-5,25*	-5,26*	-5,25*	n/a	n/a	n/a
<i>Prd_{Fio}</i>						
Original	-1,95	-1,74	-0,55	-5,01*	-4,56*	-2,52*
1ª Diferença		-5,64*	-5,63*	n/a	n/a	n/a
<i>I</i>						
Original	-2,47	-2,36	-1,36	-10,08*	-9,75*	-5,38*
1ª Diferença	-6,67*	-6,68*	-6,67*	n/a	n/a	n/a

Continua na próxima página

Tabela D.1 – Continuação da página anterior

Variáveis	Teste ADF			Teste PP		
	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}
<i>Prd_{PREH}</i>						
Original	-1,82	-1,66	-0,60	-1,66	-1,45	-0,56
1ª Diferença	-4,66*	-4,66*	-4,66*	-21,49*	-21,48*	-21,49*
<i>Prd_{PRET}</i>						
Original	-2,92	-2,26	0,39	-18,81*	-17,93*	-1,56
1ª Diferença	-6,56*	-6,57*	-6,55*	n/a	n/a	-31,09*
<i>Prd_{PRET}</i>						
Original	-3,09	-3,02	-0,33	-13,38*	-13,27*	-6,42*
1ª Diferença	-7,96*	-7,97*	-7,96*	n/a	n/a	n/a
<i>T_{max}</i>						
Original	-1,87	-1,987	-0,627	-3,71*	-3,75*	-1,18
1ª Diferença	-14,15*	-14,11*	-14,13	n/a	n/a	n/a
<i>T_{med}</i>						
Original	-2,07	-2,21	-0,75	-3,36	-3,42*	-1,26
1ª Diferença	-14,38*	-14,36*	-14,36*	-20,26*	n/a	-20,28*
<i>T_{min}</i>						
Original	-2,41	-2,53	-1,00	-4,69*	-4,67*	-2,02*
1ª Diferença	-14,74*	-14,73*	-14,74*	n/a	n/a	n/a
<i>v_V</i>						
Original	-9,68*	-9,66*	-0,43	-13,16	-13,14*	-3,58*
1ª Diferença	n/a	n/a	-11,61*	n/a	n/a	n/a
<i>R</i>						
Original	-3,53*	-3,52*	-2,36*	-17,05*	-17,03*	-15,11*
1ª Diferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>C_{Brent}</i>						
Original	-2,60	-2,51	-0,46	-2,35	-2,35	-0,38
1ª Diferença	-17,40*	-17,43*	-17,44*	-17,40*	-17,43*	-17,44
<i>C_{FO}</i>						
Original	-2,78	-1,64	-0,92	-3,66*	-2,11	-0,34
1ª Diferença	-4,14*	-4,14*	-4,07*	-17,88*	-17,88*	-17,90*
<i>C_{GN}</i>						
Original	-3,20	-3,12*	-0,21	-3,20	-3,12*	-0,21
1ª Diferença	-18,71*	-18,73*	-18,76*	-18,71*	n/a	-18,76*

Continua na próxima página

Tabela D.1 – Continuação da página anterior

Variáveis	Teste ADF			Teste PP		
	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}	τ_{ct}	τ_t	τ_{nc}
C_{API2}						
Original	-1,71	-2,05	-0,75	-1,71	-2,05	-0,75
1ª Diferença	-21,30*	-21,25*	-21,26*	-21,30*	-21,25*	-21,25*

*Significa a rejeição da hipótese nula (existe uma raiz unitária no modelo) com um nível de significância de 5%. Valores críticos relevantes de Mackinnon (1996). *Lag* determinado com base no critério de informação de Schwarz do teste ADF.

n/a - significa não aplicável. Uma série estacionária originalmente também o é após a diferenciação.

Apêndice E

Resultados CCF

Tabela E.1 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Carvão e CCGN.

			Carvão				CCGN				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h	
2012	Todos	h	0,42	0	-0,19	7	0,31	0	-0,18	17	
		D	0,77	0	-0,21	2	0,53	0	-0,17	-2	
	<i>FS</i>	h	0,48	0	-0,11	-18	0,31	0	-0,09	-18	
		D	1,00	0	-0,30	1	1,00	0	-0,30	1	
	<i>DU</i>	h	0,46	0	-0,19	-6	0,34	0	-0,22	-6	
		D	0,74	0	-0,16	-1	0,49	0	-0,14	2	
	2013	<i>FV</i>	h	0,35	0	-0,08	-41	0,27	0	-0,11	-41
			D	0,70	0	-0,20	4	0,48	0	-0,12	-44
		V	h	0,58	0	-0,16	-1	0,35	0	-0,09	2
			D	0,58	0	-0,16	-1	0,35	0	-0,09	2
2012	Todos	h	0,42	0	-0,21	-17	0,37	0	-0,21	30	
		D	0,80	0	-0,22	-1	0,68	0	-0,20	-2	
	<i>FS</i>	h	0,43	0	-0,13	-17	0,35	0	-0,11	-18	
		D	1,00	0	-0,50	-1	1,00	0	-0,50	-1	
	<i>DU</i>	h	0,45	0	-0,20	-17	0,42	0	-0,29	-6	
		D	0,73	0	-0,19	-10	0,70	0	-0,34	2	
	<i>FV</i>	h	0,34	0	-0,07	-41	0,32	0	-0,15	-11	
		D	0,71	0	-0,22	-10	0,68	0	-0,32	2	

Continua na próxima página

Tabela E.1 – Continuação da página anterior

			Carvão				CCGN				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
	V	h	0,56	0	-0,17	1	0,50	0	-0,17	2	
		D	0,56	0	-0,17	1	0,50	0	-0,17	2	
2013	Todos	h	0,42	0	-0,19	7	0,25	0	-0,15	17	
		D	0,76	0	-0,23	2	0,44	0	-0,17	-2	
	<i>FS</i>	h	0,52	0	-0,12	-18	0,30	0	-0,10	-42	
		D	1,00	0	-0,24	-1	1,00	0	-0,24	-1	
	<i>DU</i>	h	0,47	0	-0,18	7	0,26	0	-0,18	-55	
		D	0,76	0	-0,26	4	0,38	0	-0,19	-44	
	FV	h	0,37	0	-0,09	18	0,25	0	-0,10	-41	
		D	0,71	0	-0,35	4	0,38	0	-0,19	-16	
	V	h	0,58	0	-0,18	-1	0,26	0	-0,13	-5	
		D	0,58	0	-0,18	-1	0,26	0	-0,13	-5	
	01/10/2012 a	Todos	h	0,42	0	-0,16	-5	0,18	0	-0,13	17
			D	0,76	0	-0,27	-2	0,37	0	-0,35	54
		<i>FS</i>	h	0,54	0	-0,16	19	0,17	0	-0,10	65
			D	1,00	0	-0,37	-1	1,00	0	-0,37	-1
<i>DU</i>		h	0,43	0	-0,16	53	0,23	0	-0,15	18	
		D	0,67	0	-0,25	-2	0,31	0	-0,26	67	
FV		h	0,30	0	-0,20	32	0,18	0	-0,06	-2	
		D	0,60	0	-0,18	17	0,33	0	-0,23	49	
V	h	0,61	0	-0,17	-5	0,30	0	-0,20	-38		
	D	0,61	0	-0,17	-5	0,30	0	-0,20	-38		
dez/12	Todos	h	0,48	0	-0,27	-16	0,23	0	-0,20	-66	
		D	0,89	0	-0,35	3	0,57	0	-0,42	-4	
	<i>FS</i>	h	0,60	0	-0,20	-41	0,40	0	-0,22	-41	
		D	1,00	0	-0,42	-2	1,00	0	-0,42	-2	
	<i>DU</i>	h	0,47	0	-0,26	-17	0,24	-1	-0,21	-31	
		D	0,87	0	-0,57	3	0,65	0	-0,49	-10	
	FV	h	0,41	0	-0,17	-11	0,26	0	-0,16	49	

Continua na próxima página

Tabela E.1 – Continuação da página anterior

			Carvão				CCGN				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	
dez/12	V	D	0,85	0	-0,50	3	0,60	0	-0,44	-9	
		h	0,42	0	-0,36	2	0,54	0	-0,44	-10	
		D	0,42	0	-0,36	2	0,54	0	-0,44	-10	
dez/13	Todos	h	0,43	0	-0,30	7	0,38	0	-0,23	17	
		D	0,76	0	-0,22	-2	0,62	0	-0,41	-7	
	<i>FS</i>	h	0,62	0	-0,27	-17	0,56	0	-0,22	-40	
		D	1,00	0	-0,39	-6	1,00	0	-0,39	-6	
	<i>DU</i>	h	0,47	0	-0,18	-17	0,37	0	-0,31	-32	
		D	0,76	0	-0,30	4	0,56	0	-0,52	-5	
	<i>FV</i>	h	0,39	0	-0,14	4	0,34	0	-0,16	-9	
		D	0,72	0	-0,35	4	0,41	0	-0,42	-5	
	V	h	0,56	0	-0,33	-1	0,47	0	-0,40	-2	
		D	0,56	0	-0,33	-1	0,47	0	-0,40	-2	
	Março e abril 2013	Todos	h	0,34	0	-0,14	-19	0,20	0	-0,10	28
			D	0,79	0	-0,25	39	0,41	0	-0,31	5
<i>FS</i>		h	0,50	0	-0,18	-18	0,24	-48	-0,17	-45	
		D	1,00	0	-0,40	-2	1,00	0	-0,40	-2	
<i>DU</i>		h	0,39	0	-0,19	-67	0,25	0	-0,11	53	
		D	0,80	0	-0,45	4	0,36	0	-0,33	-4	
<i>FV</i>		h	0,41	0	-0,16	32	0,33	0	-0,14	-57	
		D	0,78	0	-0,52	4	0,45	0	-0,37	-4	
V		h	0,57	0	-0,29	-8	0,31	-35	-0,40	-31	
		D	0,57	0	-0,29	-8	0,31	-35	-0,40	-31	
09/02/2013 a 31/05/2013		Todos	h	0,35	0	-0,14	31	0,20	0	-0,09	6
			D	0,80	0	-0,21	-3	0,36	0	-0,32	-30
	<i>FS</i>	h	0,57	0	-0,10	-18	0,19	-48	-0,12	27	
		D	1,00	0	-0,26	2	1,00	0	-0,26	2	
	<i>DU</i>	h	0,38	0	-0,20	-67	0,24	0	-0,11	53	
		D	0,79	0	-0,42	4	0,31	0	-0,23	-9	

Continua na próxima página

Tabela E.1 – Continuação da página anterior

			Carvão				CCGN				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
09/02/2013	FV	h	0,39	0	-0,15	32	0,25	0	-0,14	-57	
		D	0,76	0	-0,50	4	0,37	0	-0,25	-9	
a 31/05/2013	V	h	0,46	0	-0,22	-48	0,26	-13	-0,26	-31	
		D	0,46	0	-0,22	-48	0,26	-13	-0,26	-31	
Verão 2012	Todos	h	0,38	0	-0,18	18	0,34	0	-0,21	18	
		D	0,79	0	-0,25	-2	0,74	0	-0,27	2	
	FS	h	0,42	0	-0,15	-66	0,30	0	-0,12	-55	
		D	1,00	0	-0,53	1	1,00	0	-0,53	1	
	DU	h	0,42	0	-0,22	-6	0,40	0	-0,27	-6	
		D	0,70	0	-0,24	16	0,71	0	-0,28	2	
	FV	h	0,35	0	-0,09	13	0,32	0	-0,12	-17	
		D	0,68	0	-0,29	1	0,70	0	-0,26	2	
	V	h	0,48	0	-0,15	16	0,43	0	-0,15	-5	
		D	0,48	0	-0,15	16	0,43	0	-0,15	-5	
	Verão 2013	Todos	h	0,43	0	-0,18	-5	0,20	0	-0,12	17
			D	0,72	0	-0,23	-2	0,45	0	-0,27	68
FS		h	0,51	0	-0,15	-5	0,22	0	-0,10	17	
		D	1,00	0	-0,39	1	1,00	0	-0,39	1	
DU		h	0,44	0	-0,16	-6	0,24	0	-0,14	-6	
		D	0,67	0	-0,27	3	0,40	0	-0,19	72	
FV		h	0,31	0	-0,14	32	0,20	0	-0,06	13	
		D	0,61	0	-0,27	17	0,40	0	-0,19	72	
V		h	0,60	0	-0,15	-29	0,21	0	-0,14	-68	
		D	0,60	0	-0,15	-29	0,21	0	-0,14	-68	
Inverno 12-13		Todos	h	0,42	0	-0,22	31	0,24	0	-0,14	17
			D	0,81	0	-0,27	2	0,46	0	-0,25	-26
	FS	h	0,49	0	-0,13	56	0,25	0	-0,11	-41	
		D	1,00	0	-0,32	-2	1,00	0	-0,32	-2	
	DU	h	0,47	0	-0,22	31	0,26	0	-0,175	-31	

Continua na próxima página

Tabela E.1 – Continuação da página anterior

			Carvão				CCGN			
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h
Inverno 12-13	<i>DU</i>	D	0,82	0	-0,31	4	0,42	0	-0,32	-44
	<i>FV</i>	h	0,39	0	-0,13	-13	0,25	0	-0,15	-41
		D	0,78	0	-0,38	4	0,43	0	-0,31	-9
	<i>V</i>	h	0,58	0	-0,20	-54	0,29	0	-0,20	-67
		D	0,58	0	-0,20	-54	0,29	0	-0,20	-67

Tabela E.2 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Importação e PRE Hidráulica.

			Importação				PRE Hidráulica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
2012	<i>Todos</i>	h	0,22	5	-0,37	0	0,19	-48	-0,14	-16	
		D	0,16	-1	-0,10	-51	0,10	21	-0,16	1	
	<i>FS</i>	h	0,13	-31	-0,22	0	0,18	48	-0,16	-68	
		D	1,00	0	-0,30	1	1,00	0	-0,30	1	
	2013	<i>DU</i>	h	0,23	0	-0,40	0	0,18	-46	-0,17	-16
			D	0,10	-1	-0,11	23	0,14	-1	-0,19	1
<i>FV</i>		h	0,09	-66	-0,15	-61	0,19	30	-0,12	33	
		D	0,12	-1	-0,11	-68	0,16	-1	-0,14	0	
<i>V</i>	h	0,12	0	-0,10	5	0,09	9	-0,14	0		
	D	0,12	0	-0,10	5	0,09	9	-0,14	0		
2012	<i>Todos</i>	h	0,23	-8	-0,39	0	0,20	72	-0,17	55	
		D	0,18	-1	-0,15	21	0,12	-39	-0,14	-9	
	<i>FS</i>	h	0,17	17	-0,22	0	0,21	48	-0,17	28	
		D	1,00	0	-0,50	-1	1,00	0	-0,50	-1	
	<i>DU</i>	h	0,25	4	-0,43	0	0,21	-22	-0,19	8	
		D	0,17	-7	-0,23	-11	0,19	-1	-0,23	1	
<i>FV</i>	h	0,12	-21	-0,20	-31	0,19	60	-0,17	33		

Continua na próxima página

Tabela E.2 – Continuação da página anterior

			Importação				PRE Hidráulica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
2012	<i>FV</i>	D	0,15	2	-0,25	-11	0,21	-1	-0,17	1	
	<i>V</i>	h	0,14	-70	-0,17	-33	0,12	-16	-0,14	32	
		D	0,14	-70	-0,17	-33	0,12	-16	-0,14	32	
2013	<i>Todos</i>	h	0,21	5	-0,36	0	0,19	-48	-0,13	18	
		D	0,16	3	-0,10	2	0,18	-29	-0,21	-16	
	<i>FS</i>	h	0,11	66	-0,22	0	0,17	-48	-0,17	-48	
		D	1,00	0	-0,24	-1	1,00	0	-0,24	-1	
	<i>DU</i>	h	0,23	-19	0,17	-49	-0,26	-61	-0,49	-19	
		D	0,13	36	-0,38	0	0,17	-24	-0,15	-16	
	<i>FV</i>	h	0,09	-66	-0,12	-61	0,21	-60	-0,11	-60	
		D	0,14	-1	-0,14	23	0,13	-27	-0,19	0	
	<i>V</i>	h	0,16	-29	-0,13	-25	0,11	-18	-0,27	0	
		D	0,16	-29	-0,13	-25	0,11	-18	-0,27	0	
	01/10/2012 a	<i>Todos</i>	h	0,28	4	-0,31	0	0,19	48	-0,20	42
			D	0,26	48	-0,18	25	0,22	15	-0,33	19
<i>FS</i>		h	0,17	3	-0,27	0	0,25	48	-0,29	3	
		D	1,00	0	-0,37	-1	1,00	0	-0,37	-1	
<i>DU</i>		h	0,30	4	-0,32	0	0,18	25	-0,22	18	
		D	0,21	36	-0,21	23	0,24	16	-0,30	14	
31/05/2013	<i>FV</i>	h	0,14	65	-0,10	29	0,19	60	-0,17	62	
		D	0,25	36	-0,19	56	0,31	16	-0,36	20	
	<i>V</i>	h	0,21	-11	-0,22	-17	0,15	-45	-0,13	14	
		D	0,21	-11	-0,22	-17	0,15	-45	-0,13	14	
dez/12	<i>Todos</i>	h	0,28	6	-0,48	0	0,25	0	-0,20	7	
		D	0,42	-10	-0,28	1	0,40	4	-0,33	-9	
	<i>FS</i>	h	0,23	-31	-0,29	23	0,22	-19	-0,16	30	
		D	1,00	0	-0,42	-2	1,00	0	-0,42	-2	
	<i>DU</i>	h	0,28	-18	-0,48	0	0,27	0	-0,19	7	
		D	0,29	-1	-0,28	2	0,46	-8	-0,38	1	

Continua na próxima página

Tabela E.2 – Continuação da página anterior

			Importação				PRE Hidráulica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
dez/12	<i>FV</i>	h	0,20	61	-0,24	-61	0,38	60	-0,20	-11	
		D	0,24	4	-0,24	-14	0,47	4	-0,27	-5	
	<i>V</i>	h	0,33	-1	-0,34	-18	0,24	-7	-0,46	0	
		D	0,33	-1	-0,34	-18	0,24	-7	-0,46	0	
dez/13	<i>Todos</i>	h	0,25	5	-0,46	0	0,26	-70	-0,23	-16	
		D	0,33	0	-0,31	-19	0,35	-2	-0,38	-5	
	<i>FS</i>	h	0,19	-16	-0,20	-24	-0,19	-57	-0,26	0	
		D	1,00	0	-0,39	-6	1,00	0	-0,39	-6	
	<i>DU</i>	h	0,28	-32	-0,54	0	0,30	-46	-0,26	-64	
		D	0,37	0	-0,41	-7	0,29	-7	-0,35	3	
	<i>FV</i>	h	0,21	-51	-0,29	-61	0,31	-53	-0,18	-42	
		D	0,33	3	-0,33	-13	0,32	-2	-0,46	-3	
	<i>V</i>	h	0,37	0	-0,39	-7	0,40	-7	-0,40	0	
		D	0,37	0	-0,39	-7	0,40	-7	-0,40	0	
	Março e abril 2013	<i>Todos</i>	h	0,14	-18	-0,13	0	0,15	25	-0,17	3
			D	0,34	-5	-0,24	7	0,26	-29	-0,28	-17
<i>FS</i>		h	0,16	27	-0,19	48	0,21	-48	-0,20	52	
		D	1,00	0	-0,40	-2	1,00	0	-0,40	-2	
<i>DU</i>		h	0,17	-18	-0,15	0	0,15	25	-0,15	3	
		D	0,25	26	-0,38	3	0,33	6	-0,34	-11	
<i>FV</i>		h	0,16	-65	-0,12	29	0,22	-60	-0,20	62	
		D	0,31	4	-0,47	3	0,36	6	-0,31	10	
<i>V</i>		h	0,39	-40	-0,34	-42	0,26	-7	-0,27	2	
		D	0,39	-40	-0,34	-42	0,26	-7	-0,27	2	
09/02/2013 a 31/05/2013		<i>Todos</i>	h	0,14	-18	-0,23	0	0,14	0	-0,12	3
			D	0,24	-1	-0,32	19	0,32	-29	-0,23	-17
	<i>FS</i>	h	0,20	3	-0,20	0	0,15	48	-0,21	4	
		D	1,00	0	-0,26	2	1,00	0	-0,26	2	
<i>DU</i>	h	0,18	-18	-0,24	0	-0,24	0	-0,10	18		

Continua na próxima página

Tabela E.2 – Continuação da página anterior

			Importação				PRE Hidráulica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
09/02/2013 a 31/05/2013	<i>DU</i>	D	0,22	6	-0,20	30	0,32	6	-0,32	-11	
		h	0,14	-65	-0,12	29	0,21	30	-0,18	62	
	<i>FV</i>	D	0,21	31	-0,27	3	0,32	6	-0,31	-11	
		h	0,23	-54	-0,34	-11	0,22	-15	-0,27	0	
	<i>V</i>	D	0,23	-54	-0,34	-11	0,22	-15	-0,27	0	
Verão 2012	<i>Todos</i>	h	0,22	5	-0,35	0	0,18	1	-0,19	-30	
		D	0,20	-1	-0,24	0	0,18	-7	-0,16	-9	
	<i>FS</i>	h	0,15	-8	-0,21	0	0,20	48	-0,27	-21	
		D	1,00	0	-0,53	1	1,00	0	-0,53	1	
	<i>DU</i>	h	0,25	5	-0,39	0	0,19	-23	-0,21	41	
		D	0,22	2	-0,26	0	0,22	-1	-0,19	11	
	<i>FV</i>	h	0,15	-21	-0,18	0	0,18	1	-0,17	-27	
		D	0,32	2	-0,33	0	0,24	-1	-0,19	11	
	<i>V</i>	h	0,19	-67	-0,18	-5	0,18	-59	-0,12	-30	
		D	0,19	-67	-0,18	-5	0,18	-59	-0,12	-30	
	Verão 2013	<i>Todos</i>	h	0,26	5	-0,33	0	0,17	48	-0,17	66
			D	0,25	48	-0,15	0	0,24	-21	-0,22	-16
<i>FS</i>		h	0,15	-8	-0,26	0	0,23	0	-0,26	51	
		D	1,00	0	-0,39	1	1,00	0	-0,39	1	
<i>DU</i>		h	0,29	53	-0,34	0	0,17	25	-0,19	18	
		D	0,19	36	-0,26	56	0,22	-15	-0,27	-11	
<i>FV</i>		h	0,10	65	-0,11	29	0,16	30	-0,15	62	
		D	0,20	36	-0,27	56	0,21	6	-0,23	20	
<i>V</i>		h	0,20	0	-0,32	-10	0,16	-30	-0,16	3	
		D	0,20	0	-0,32	-10	0,16	-30	-0,16	3	
Inverno 12-13		<i>Todos</i>	h	0,23	6	-0,41	0	0,22	0	-0,16	53
			D	0,23	-50	-0,18	-6	0,20	-22	-0,23	33
	<i>FS</i>	h	0,16	-31	-0,25	0	0,20	-9	-0,20	-9	
		D	1,00	0	-0,32	-2	1,00	0	-0,32	-2	

Continua na próxima página

Tabela E.2 – Continuação da página anterior

			Importação				PRE Hidráulica			
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h
Inverno 12-13	<i>DU</i>	h	0,23	-18	-0,42	0	0,19	-46	-0,15	40
		D	0,19	-41	-0,23	-11	0,22	-39	-0,22	1
	<i>FV</i>	h	0,15	-65	-0,17	-61	0,28	0	-0,14	-56
		D	0,20	-67	-0,27	-68	0,29	-39	-0,20	-25
	<i>V</i>	h	0,27	-51	-0,26	-30	0,18	30	-0,28	0
		D	0,27	-51	-0,26	-30	0,18	30	-0,28	0

Tabela E.3 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Albufeira e Fio de Água.

			Albufeiras				Fio de Água			
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h
2012	<i>Todos</i>	h	0,47	0	-0,22	-30	0,31	0	-0,16	-65
		D	0,41	0	-0,22	1	0,36	6	-0,19	2
	<i>FS</i>	h	0,49	0	-0,19	-43	-0,25	-48	-0,14	-18
		D	1,00	0	-0,30	0	1,00	0	-0,30	1
2013	<i>DU</i>	h	0,46	0	-0,23	18	0,33	0	-0,18	42
		D	0,33	0	-0,30	1	0,28	0	-0,14	1
	<i>FV</i>	h	0,47	0	-0,13	-11	0,32	0	-0,13	19
		D	0,39	0	-0,29	1	0,31	0	-0,14	-2
	<i>V</i>	h	0,22	0	-0,19	1	0,09	-4	-0,09	24
		D	0,22	0	-0,19	1	0,09	-4	-0,09	24
2012	<i>Todos</i>	h	0,44	0	-0,22	66	0,27	0	-0,15	17
		D	0,29	0	-0,26	1	0,20	0	-0,20	40
	<i>FS</i>	h	0,46	0	0,23	5	0,23	-48	-0,16	-43
		D	1,00	0	-0,50	-1	1,00	0	-0,50	-1
	<i>DU</i>	h	0,43	0	-0,23	18	0,27	0	-0,18	-65
		D	0,35	0	-0,28	1	0,24	0	-0,24	-2

Continua na próxima página

Tabela E.3 – Continuação da página anterior

			Albufeiras				Fio de Água				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
2012	<i>FV</i>	h	0,48	0	-0,17	4	0,31	0	-0,16	49	
		D	0,42	0	-0,24	1	0,33	0	-0,23	-2	
	<i>V</i>	h	0,13	-46	-0,16	-47	0,17	-40	-0,15	0	
		D	0,13	-46	-0,16	-47	0,17	-40	-0,15	0	
2013	<i>Todos</i>	h	0,49	0	-0,22	-30	0,34	0	-0,18	-42	
		D	0,46	0	-0,21	1	0,44	0	-0,24	2	
	<i>FS</i>	h	0,51	0	-0,18	-43	0,26	-48	-0,15	-18	
		D	1,00	0	-0,24	-1	1,00	0	-0,24	-1	
	<i>DU</i>	h	0,49	0	-0,23	18	0,37	0	-0,19	42	
		D	0,33	0	-0,31	1	0,30	0	-0,18	-11	
	<i>FV</i>	h	0,47	0	-0,14	-19	0,34	0	-0,12	26	
		D	0,37	0	-0,32	1	0,30	0	-0,16	-11	
	<i>V</i>	h	0,24	0	-0,19	1	0,12	-4	-0,12	3	
		D	0,24	0	-0,19	1	0,12	-4	-0,12	3	
	01/10/2012 a	<i>Todos</i>	h	0,45	0	-0,21	-7	0,28	0	-0,17	19
			D	0,46	0	-0,27	3	0,50	0	-0,31	-12
<i>FS</i>		h	0,47	0	-0,25	-43	0,19	-49	-0,22	52	
		D	1,00	0	-0,37	-1	1,00	0	-0,37	-1	
<i>DU</i>		h	0,42	0	-0,21	-7	0,31	0	-0,21	43	
		D	0,36	0	-0,43	1	0,22	6	-0,24	52	
31/05/2013	<i>FV</i>	h	0,37	0	-0,16	17	0,22	0	-0,09	43	
		D	0,43	0	-0,41	1	0,27	6	-0,25	62	
	<i>V</i>	h	0,26	0	-0,20	1	0,17	-26	-0,19	-63	
		D	0,26	0	-0,20	1	0,17	-26	-0,19	-63	
dez/12	<i>Todos</i>	h	0,50	0	-0,27	16	0,38	0	-0,25	65	
		D	0,47	0	-0,56	1	0,47	9	-0,40	12	
	<i>FS</i>	h	0,44	0	-0,21	17	0,28	25	-0,18	18	
		D	1,00	0	-0,42	-2	1,00	0	-0,42	-2	
	<i>DU</i>	h	0,53	0	-0,32	16	0,41	0	-0,27	56	

Continua na próxima página

Tabela E.3 – Continuação da página anterior

			Albufeiras				Fio de Água				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
dez/12	<i>DU</i>	D	0,44	0	-0,32	1	0,58	0	-0,49	-3	
		h	0,60	0	-0,26	-26	0,45	0	-0,26	-4	
	<i>FV</i>	D	0,54	0	-0,47	2	0,68	0	-0,46	-3	
		h	0,28	-7	-0,48	-6	0,30	-5	-0,37	-6	
	<i>V</i>	D	0,28	-7	-0,48	-6	0,30	-5	-0,37	-6	
dez/13	<i>Todos</i>	h	0,50	0	-0,25	-7	0,39	0	-0,19	64	
		D	0,30	1	-0,43	2	0,27	-9	-0,56	2	
	<i>FS</i>	h	0,45	0	0,23	6	0,36	-48	-0,23	7	
		D	1,00	0	-0,39	-6	1,00	0	-0,39	-6	
	<i>DU</i>	h	0,49	0	-0,27	-56	0,38	0	-0,22	56	
		D	0,47	-1	-0,39	-5	0,32	-4	-0,46	2	
	<i>FV</i>	h	0,50	0	-0,22	41	0,33	0	-0,24	26	
		D	0,41	-4	-0,40	-5	0,27	-6	-0,55	2	
	<i>V</i>	h	0,36	-4	-0,29	-2	0,39	-7	-0,37	0	
		D	0,36	-4	-0,29	-2	0,39	-7	-0,37	0	
	Março e abril 2013	<i>Todos</i>	h	0,38	0	-0,18	7	0,23	0	-0,18	31
			D	0,54	0	-0,25	-6	0,46	0	-0,22	39
<i>FS</i>		h	0,44	0	-0,15	-17	0,27	-48	0,17	-17	
		D	1,00	0	-0,40	-2	1,00	0	-0,40	-2	
<i>DU</i>		h	0,41	0	-0,20	29	0,25	-24	-0,21	-42	
		D	0,43	0	-0,32	1	0,40	0	-0,37	-11	
<i>FV</i>		h	0,47	0	-0,22	-58	0,40	-45	-0,16	63	
		D	0,45	0	-0,41	1	0,42	0	-0,35	-11	
<i>V</i>		h	0,28	-2	-0,27	2	0,24	-14	-0,26	-23	
		D	0,28	-2	-0,27	2	0,24	-14	-0,26	-23	
09/02/2013 a 31/05/2013		<i>Todos</i>	h	0,45	0	-0,20	18	0,29	0	-0,20	6
			D	0,54	0	-0,26	3	0,50	0	-0,24	39
	<i>FS</i>	h	0,52	0	-0,15	-17	0,28	0	-0,17	-18	
		D	1,00	0	-0,26	2	1,00	0	-0,26	2	

Continua na próxima página

Tabela E.3 – Continuação da página anterior

			Albufeiras				Fio de Água				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
09/02/2013	<i>DU</i>	h	0,46	0	-0,22	18	-0,30	0	-0,22	-42	
		D	0,40	0	-0,31	-11	0,41	0	-0,31	-11	
a	<i>FV</i>	h	0,47	0	-0,20	-58	0,39	-45	-0,14	63	
		D	0,43	0	-0,37	1	0,44	0	-0,28	-11	
31/05/2013	<i>V</i>	h	0,37	-40	-0,27	-23	0,22	-14	-0,27	-11	
		D	0,37	-40	-0,27	-23	0,22	-14	-0,27	-11	
Verão 2012	<i>Todos</i>	h	0,43	0	-0,20	-6	0,19	48	-0,12	-65	
		D	0,25	0	-0,21	1	0,21	-1	-0,18	-3	
	<i>FS</i>	h	0,49	0	-0,23	5	0,17	48	-0,15	-43	
		D	1,00	0	-0,53	1	1,00	0	-0,53	1	
	<i>DU</i>	h	0,39	0	-0,21	42	0,22	48	-0,16	-41	
		D	0,35	0	-0,27	1	0,22	-4	-0,24	28	
	<i>FV</i>	h	0,44	0	-0,11	-17	0,21	-60	-0,14	-32	
		D	0,40	0	-0,24	1	0,20	-4	-0,22	28	
	<i>V</i>	h	0,14	-30	-0,15	26	0,21	-1	-0,25	0	
		D	0,14	-30	-0,15	26	0,21	-1	-0,25	0	
	Verão 2013	<i>Todos</i>	h	0,45	0	-0,20	-7	0,28	0	-0,15	-42
			D	0,44	0	-0,18	3	0,47	0	-0,22	2
<i>FS</i>		h	0,48	0	-0,23	-43	-0,21	0	-0,16	52	
		D	1,00	0	-0,39	1	1,00	0	-0,39	1	
<i>DU</i>		h	0,42	0	-0,21	-7	0,32	-48	-0,18	-53	
		D	0,25	0	-0,38	-17	0,31	-14	-0,32	-11	
<i>FV</i>		h	0,38	0	-0,16	32	0,26	60	-0,14	43	
		D	0,29	0	-0,32	-17	0,31	-14	-0,34	-11	
<i>V</i>		h	0,24	0	-0,25	-17	0,20	-62	-0,15	-48	
		D	0,24	0	-0,25	-17	0,20	-62	-0,15	-48	
Inverno 12-13		<i>Todos</i>	h	0,53	0	-0,25	6	0,39	0	-0,22	-65
			D	0,57	0	-0,35	1	0,41	0	-0,23	-37
	<i>FS</i>	h	0,54	0	-0,17	-67	0,32	0	-0,17	-18	

Continua na próxima página

Tabela E.3 – Continuação da página anterior

			Albufeiras				Fio de Água			
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h
Inverno 12-13	<i>FS</i>	D	1,00	0	-0,32	-2	1,00	0	-0,32	-2
	<i>DU</i>	h	0,55	0	-0,29	18	0,40	0	-0,22	-65
		D	0,53	0	-0,38	1	0,35	0	-0,22	1
	<i>FV</i>	h	0,56	0	-0,24	-19	0,41	0	-0,21	-11
		D	0,59	0	-0,38	1	0,35	0	-0,21	-2
	<i>V</i>	h	0,30	-41	-0,26	-40	0,22	33	-0,23	-33
		D	0,30	-41	-0,26	-40	0,22	33	-0,23	-33

Tabela E.4 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis PRE Térmico e PRE Eólica.

			PRE Térmico				PRE Eólica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
2012	<i>Todos</i>	h	0,27	2	-0,28	18	0,14	33	-0,11	3	
		D	0,41	0	-0,19	-2	0,17	1	-0,55	0	
	<i>FS</i>	h	0,25	-24	-0,18	19	0,08	8	-0,31	0	
		D	1,00	0	-0,30	1	1,00	0	-0,30	1	
	2013	<i>DU</i>	h	0,32	2	-0,32	18	-0,13	10	-0,13	0
			D	0,21	0	-0,10	-53	0,19	1	-0,59	0
	<i>FV</i>	h	0,21	0	-0,10	33	0,04	-27	-0,18	0	
		D	0,23	0	-0,11	-58	0,20	1	-0,55	0	
<i>V</i>	h	0,12	42	-0,09	39	0,15	1	-0,47	0		
	D	0,12	42	-0,09	39	0,15	1	-0,47	0		
2012	<i>Todos</i>	h	0,28	1	-0,32	18	0,14	-38	-0,12	3	
		D	0,51	0	-0,23	19	0,17	-2	-0,49	0	
	<i>FS</i>	h	0,26	24	-0,20	19	0,09	-16	-0,27	0	
		D	1,00	0	-0,50	-1	1,00	0	-0,50	-1	
	<i>DU</i>	h	0,33	2	-0,37	18	0,12	9	-0,12	0	

Continua na próxima página

Tabela E.4 – Continuação da página anterior

			PRE Térmico				PRE Eólica			
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h
2012	<i>DU</i>	D	0,36	0	-0,17	-1	0,20	-2	-0,54	0
		h	0,22	0	-0,11	-11	0,06	-27	-0,17	0
	<i>FV</i>	D	0,42	0	-0,20	-1	0,19	-2	-0,52	0
		h	0,21	43	-0,12	3	0,17	1	-0,47	0
	<i>V</i>	D	0,21	43	-0,12	3	0,17	1	-0,47	0
2013	<i>Todos</i>	h	0,28	2	-0,25	18	0,14	57	-0,10	3
		D	0,33	0	-0,22	33	0,20	2	-0,59	0
	<i>FS</i>	h	0,23	0	-0,16	-29	0,09	-17	-0,36	0
		D	1,00	0	-0,24	-1	1,00	0	-0,24	-1
	<i>DU</i>	h	0,32	26	-0,28	18	0,15	10	-0,14	0
		D	0,14	-23	-0,14	39	0,21	1	-0,63	0
	<i>FV</i>	h	0,24	60	-0,11	33	0,05	-58	-0,18	0
		D	0,17	37	-0,15	39	0,21	1	-0,58	0
	<i>V</i>	h	0,17	-23	-0,22	-34	0,14	-66	-0,49	0
		D	0,17	-23	-0,22	-34	0,14	-66	-0,49	0
01/10/2012 a	<i>Todos</i>	h	0,27	2	-0,23	18	0,25	33	-0,19	3
		D	0,49	0	-0,33	5	0,21	12	-0,48	0
	<i>FS</i>	h	0,16	-24	-0,20	18	0,10	8	-0,330	0
		D	1,00	0	-0,37	-1	1,00	0	-0,37	-1
	<i>DU</i>	h	0,34	2	-0,26	-54	0,24	10	-0,21	3
		D	0,31	8	-0,20	39	0,25	3	-0,56	0
31/05/2013	<i>FV</i>	h	0,21	60	-0,08	2	0,11	9	-0,17	0
		D	0,41	8	-0,26	7	0,22	3	-0,55	0
	<i>V</i>	h	0,35	0	-0,30	-5	0,21	-17	-0,33	0
		D	0,35	0	-0,30	-5	0,21	-17	-0,33	0
dez/12	<i>Todos</i>	h	0,32	1	-0,33	55	0,13	-39	-0,15	4
		D	0,41	0	-0,31	-3	0,47	1	-0,64	0
	<i>FS</i>	h	0,29	-25	-0,22	68	0,19	-41	-0,32	0
		D	1,00	0	-0,42	-2	1,00	0	-0,42	-2

Continua na próxima página

Tabela E.4 – Continuação da página anterior

			PRE Térmico				PRE Eólica				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
dez/12	<i>DU</i>	h	0,36	1	-0,36	18	0,13	9	-0,16	-6	
		D	0,52	0	-0,40	-3	0,42	2	-0,54	0	
	<i>FV</i>	h	0,38	0	-0,18	-41	0,16	-45	-0,27	0	
		D	0,58	0	-0,42	-3	0,48	2	-0,57	0	
	<i>V</i>	h	0,35	8	-0,38	0	0,35	-10	-0,47	0	
		D	0,35	8	-0,38	0	0,35	-10	-0,47	0	
dez/13	<i>Todos</i>	h	0,31	26	-0,31	-41	0,17	12	-0,19	19	
		D	0,27	-3	-0,26	-22	0,40	2	-0,64	0	
	<i>FS</i>	h	0,27	1	-0,22	5	0,20	-42	-0,51	0	
		D	1,00	0	-0,39	-6	1,00	0	-0,39	-6	
	<i>DU</i>	h	0,35	-1	-0,33	-6	0,14	36	-0,21	-6	
		D	0,37	0	-0,44	2	0,44	4	-0,61	0	
	<i>FV</i>	h	0,27	-30	-0,17	34	0,26	60	-0,13	-4	
		D	0,38	0	-0,50	2	0,40	4	-0,46	0	
	<i>V</i>	h	0,35	-7	-0,35	-1	0,39	-7	-0,63	0	
		D	0,35	-7	-0,35	-1	0,39	-7	-0,63	0	
	Março e abril 2013	<i>Todos</i>	h	0,21	-1	-0,22	29	0,10	56	-0,10	-1
			D	0,32	34	-0,24	-17	0,27	2	-0,52	0
<i>FS</i>		h	0,23	0	-0,21	-5	0,13	-47	-0,29	0	
		D	1,00	0	-0,40	-2	1,00	0	-0,40	-2	
<i>DU</i>		h	0,22	2	-0,21	8	0,11	67	-0,18	0	
		D	0,37	9	-0,26	8	0,34	4	-0,67	0	
<i>FV</i>		h	0,29	60	-0,15	18	0,10	-58	-0,25	0	
		D	0,39	9	-0,27	7	0,37	4	-0,60	0	
<i>V</i>		h	0,44	-2	-0,32	32	0,25	3	-0,54	0	
		D	0,44	-2	-0,32	32	0,25	3	-0,54	0	
09/02/2012 a		<i>Todos</i>	h	0,21	-25	-0,22	-42	0,09	-16	-0,10	0
			D	0,34	34	-0,21	-39	0,27	2	-0,60	0
31/05/2013	<i>FS</i>	h	0,21	0	-0,18	-5	0,09	8	-0,43	0	

Continua na próxima página

Tabela E.4 – Continuação da página anterior

			PRE Térmico				PRE Eólica				
			$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	
09/02/2013 a 31/05/2013	<i>FS</i>	D	1,00	0	-0,26	2	1,00	0	-0,26	2	
	<i>DU</i>	h	0,24	2	-0,19	16	-0,08	-67	-0,15	0	
		D	0,21	-2	-0,18	15	0,36	-11	-0,68	0	
	<i>FV</i>	h	0,29	60	-0,13	18	0,10	-58	-0,22	0	
		D	0,24	14	-0,23	15	0,33	4	-0,61	0	
	<i>V</i>	h	0,27	-8	-0,32	-24	0,31	-17	-0,44	0	
D		0,27	-8	-0,32	-24	0,31	-17	-0,44	0		
Verão 2012	<i>Todos</i>	h	0,25	2	-0,30	18	0,16	8	-0,16	1	
		D	0,56	0	-0,26	-2	0,21	-2	-0,42	0	
	<i>FS</i>	h	0,27	24	-0,22	67	0,09	-16	-0,28	0	
		D	1,00	0	-0,53	1	1,00	0	-0,53	1	
	<i>DU</i>	h	0,34	2	-0,36	18	0,16	9	-0,18	0	
		D	0,30	0	-0,27	-1	0,27	-2	-0,51	0	
	<i>FV</i>	h	0,19	0	-0,10	-12	0,12	10	-0,16	0	
		D	0,38	0	-0,30	-1	0,30	1	-0,49	0	
	<i>V</i>	h	0,22	28	-0,16	55	0,19	-5	-0,44	0	
		D	0,22	28	-0,16	55	0,19	-5	-0,44	0	
	Verão 2013	<i>Todos</i>	h	0,28	2	-0,23	18	0,18	33	-0,15	3
			D	0,50	-7	-0,32	5	0,18	2	-0,45	0
<i>FS</i>		h	0,25	-24	-0,20	-29	0,11	-43	-0,30	0	
		D	1,00	0	-0,39	1	1,00	0	-0,39	1	
<i>DU</i>		h	0,35	2	-0,26	18	0,17	33	-0,18	-44	
		D	0,21	-15	-0,18	3	0,30	3	-0,58	0	
<i>FV</i>		h	0,18	60	-0,11	-28	0,06	9	-0,15	0	
		D	0,21	-15	-0,22	15	0,28	-11	-0,57	0	
<i>V</i>		h	0,31	0	-0,28	-10	0,21	-17	-0,36	0	
		D	0,31	0	-0,28	-10	0,21	-17	-0,36	0	
Inverno 12-13		<i>Todos</i>	h	0,30	25	-0,29	-66	0,13	57	-0,11	0
			D	0,35	0	-0,20	-44	0,34	1	-0,63	0

Continua na próxima página

Tabela E.4 – Continuação da página anterior

			PRE Térmico				PRE Eólica			
			$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h
Inverno 12-13	<i>FS</i>	h	0,24	-25	-0,17	-28	0,10	7	-0,36	0
		D	1,00	0	-0,32	-2	1,00	0	-0,32	-2
	<i>DU</i>	h	0,31	25	-0,33	18	0,11	9	-0,16	0
		D	0,33	-54	-0,26	-53	0,27	-30	-0,58	0
	<i>FV</i>	h	0,27	0	-0,15	-41	0,09	-14	-0,20	0
		D	0,38	-54	-0,31	-53	0,31	-37	-0,56	0
	<i>V</i>	h	0,24	-36	-0,27	-30	0,29	-40	-0,45	0
		D	0,24	-36	-0,27	-30	0,29	-40	-0,45	0

Tabela E.5 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis PRE Fotovoltaica e Consumo.

			PRE Fotovoltaica				Consumo			
			$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h
2012	<i>Todos</i>	h	0,27	-8	-0,33	-38	0,48	1	-0,31	-6
		D	0,12	-51	-0,12	14	0,41	0	-0,21	68
	<i>FS</i>	h	0,30	-33	-0,26	8	0,54	0	-0,23	-18
		D	1,00	0	-0,30	1	1,00	0	-0,30	1
	<i>DU</i>	h	0,30	3	-0,37	59	0,46	2	-0,35	-6
		D	0,16	-10	-0,14	-11	0,22	0	-0,09	-25
	<i>FV</i>	h	0,14	-9	-0,15	-1	0,37	0	-0,16	-11
		D	0,17	-10	-0,14	10	0,23	0	-0,10	29
	<i>V</i>	h	0,10	0	-0,14	6	0,15	15	-0,11	11
		D	0,10	0	-0,14	6	0,15	15	-0,11	11
2013	<i>Todos</i>	h	0,26	-8	-0,31	-14	0,48	1	-0,33	-6
		D	0,15	0	-0,17	17	0,51	1	-0,23	19
	<i>FS</i>	h	0,31	-9	-0,29	8	0,54	0	-0,26	5
		D	1,00	0	-0,50	-1	1,00	0	-0,50	-1

Continua na próxima página

Tabela E.5 – Continuação da página anterior

			PRE Fotovoltaica				Consumo				
			$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	
2012	<i>DU</i>	h	0,32	3	-0,33	35	0,49	2	-0,38	-6	
		D	0,18	16	-0,20	-1	0,34	0	-0,15	40	
	<i>FV</i>	h	0,21	-39	-0,19	-46	0,30	0	-0,19	-11	
		D	0,17	5	-0,20	-1	0,39	0	-0,14	10	
	<i>V</i>	h	0,12	42	-0,26	43	0,22	43	-0,13	-39	
		D	0,12	42	-0,26	43	0,22	43	-0,13	-39	
2013	<i>Todos</i>	h	0,28	-8	-0,35	-38	0,48	0	-0,29	-6	
		D	0,19	51	-0,16	14	0,34	14	-0,22	68	
	<i>FS</i>	h	0,30	-33	-0,25	32	0,54	0	-0,21	-17	
		D	1,00	0	-0,24	-1	1,00	0	-0,24	-1	
	<i>DU</i>	h	0,29	3	-0,38	11	0,46	0	-0,32	-6	
		D	0,18	-10	-0,23	10	0,15	0	-0,15	64	
	<i>FV</i>	h	0,11	-9	-0,13	-1	0,43	0	-0,15	19	
		D	0,22	-10	-0,24	10	0,14	0	-0,12	29	
	<i>V</i>	h	0,21	0	-0,17	6	0,16	15	-0,22	-34	
		D	0,21	0	-0,17	6	0,16	15	-0,22	-34	
	01/10/2012 a	<i>Todos</i>	h	0,27	-21	-0,37	34	0,42	0	-0,26	-6
			D	0,21	10	-0,26	14	0,52	0	-0,33	5
<i>FS</i>		h	0,27	-10	-0,32	9	0,50	0	-0,27	-18	
		D	1,00	0	-0,37	-1	1,00	0	-0,37	-1	
<i>DU</i>		h	0,33	3	-0,38	10	0,41	2	-0,28	18	
		D	0,28	6	-0,23	9	0,36	36	-0,31	7	
31/05/2013	<i>FV</i>	h	0,14	4	-0,17	40	0,34	0	-0,17	-2	
		D	0,30	6	-0,26	5	0,37	36	-0,36	7	
	<i>V</i>	h	0,38	-5	-0,39	0	0,42	0	-0,26	-5	
		D	0,38	-5	-0,39	0	0,42	0	-0,26	-5	
dez/12	<i>Todos</i>	h	0,43	-8	-0,41	10	0,53	1	-0,34	-65	
		D	0,50	-10	-0,34	-13	0,52	0	-0,35	-3	
	<i>FS</i>	h	0,43	-56	-0,36	8	0,58	0	-0,23	7	

Continua na próxima página

Tabela E.5 – Continuação da página anterior

			PRE Fotovoltaica				Consumo				
			$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{i}n}$	h	
dez/12	<i>FS</i>	D	1,00	0	-0,42	-2	1,00	0	-0,42	-2	
	<i>DU</i>	h	0,41	-8	-0,47	10	0,49	1	-0,36	-17	
		D	0,44	-6	-0,35	-16	0,64	0	-0,40	-3	
	<i>FV</i>	h	0,30	-6	-0,22	-16	0,49	0	-0,36	-11	
		D	0,36	-6	-0,38	-16	0,71	0	-0,42	-3	
	<i>V</i>	h	0,42	0	-0,36	8	0,35	8	-0,33	0	
		D	0,42	0	-0,36	8	0,35	8	-0,33	0	
dez/13	<i>Todos</i>	h	0,46	-8	-0,40	-15	0,59	1	-0,35	7	
		D	0,32	0	-0,32	-10	0,24	0	-0,33	-22	
	<i>FS</i>	h	0,55	-32	-0,31	8	0,63	0	-0,27	-17	
		D	1,00	0	-0,39	-6	1,00	0	-0,39	-6	
	<i>DU</i>	h	0,35	-6	-0,41	-15	0,52	1	-0,35	-6	
		D	0,41	0	-0,32	4	0,54	0	-0,43	2	
	<i>FV</i>	h	0,22	-6	-0,19	-61	0,47	0	-0,28	-10	
		D	0,44	0	-0,30	-2	0,57	0	-0,49	2	
	<i>V</i>	h	0,36	-1	-0,44	-7	0,37	-7	-0,34	-1	
		D	0,36	-1	-0,44	-7	0,37	-7	-0,34	-1	
	Março e abril 2013	<i>Todos</i>	h	0,16	16	-0,28	-38	0,46	0	-0,19	-41
			D	0,34	1	-0,39	0	0,28	-1	-0,32	-17
<i>FS</i>		h	0,27	-38	-0,20	-1	0,47	0	-0,20	-28	
		D	1,00	0	-0,40	-2	1,00	0	-0,40	-2	
<i>DU</i>		h	0,17	-7	-0,31	-37	0,44	0	-0,21	-7	
		D	0,40	1	-0,32	10	0,28	28	-0,30	8	
<i>FV</i>		h	0,15	-25	-0,15	-28	0,56	0	-0,24	-13	
		D	0,41	1	-0,36	10	0,29	28	-0,32	8	
<i>V</i>		h	0,33	32	-0,38	-2	0,37	-2	-0,29	32	
		D	0,33	32	-0,38	-2	0,37	-2	-0,29	32	
<i>Todos</i>		h	0,21	16	-0,29	-38	0,47	0	-0,24	55	
		D	0,28	1	-0,34	14	0,27	34	-0,24	-9	

Continua na próxima página

Tabela E.5 – Continuação da página anterior

			PRE Fotovoltaica				Consumo				
			$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	
09/02/2013 a 31/05/2013	<i>FS</i>	h	0,27	-10	-0,19	-2	0,46	0	-0,20	5	
		D	1,00	0	-0,26	2	1,00	0	-0,26	2	
	<i>DU</i>	h	0,20	-8	-0,33	11	0,44	0	-0,24	7	
		D	0,35	1	-0,35	10	0,25	-14	-0,21	-18	
	<i>FV</i>	h	0,14	20	-0,14	-1	0,53	-60	-0,21	-13	
		D	0,36	1	-0,40	10	0,22	-14	-0,21	-23	
<i>V</i>	h	0,36	-24	-0,28	-8	0,24	-8	-0,30	-24		
	D	0,36	-24	-0,28	-8	0,24	-8	-0,30	-24		
Verão 2012	<i>Todos</i>	h	0,23	-45	-0,25	-38	0,41	0	-0,30	-6	
		D	0,24	4	-0,19	1	0,54	0	-0,24	-44	
	<i>FS</i>	h	0,25	-35	-0,25	8	0,53	0	-0,30	5	
		D	1,00	0	-0,53	1	1,00	0	-0,53	1	
	<i>DU</i>	h	0,31	3	-0,28	-61	0,43	2	-0,34	-6	
		D	0,17	0	-0,19	14	0,23	0	-0,20	26	
	<i>FV</i>	h	0,20	65	-0,22	-35	0,26	0	-0,22	-2	
		D	0,23	0	-0,18	-1	0,28	0	-0,18	-6	
	<i>V</i>	h	0,20	-57	-0,25	28	0,23	28	-0,14	-57	
		D	0,20	-57	-0,25	28	0,23	28	-0,14	-57	
	Verão 2013	<i>Todos</i>	h	0,25	-21	-0,36	34	0,44	0	-0,25	-6
			D	0,18	-10	-0,16	14	0,54	-7	-0,31	5
<i>FS</i>		h	0,28	14	-0,29	9	0,51	-48	-0,25	-18	
		D	1,00	0	-0,39	1	1,00	0	-0,39	1	
<i>DU</i>		h	0,31	3	-0,40	-13	0,40	0	-0,27	18	
		D	0,21	-10	-0,23	10	0,28	36	-0,24	7	
<i>FV</i>		h	0,12	20	-0,13	70	0,34	0	-0,19	-13	
		D	0,25	-10	-0,24	10	0,26	36	-0,26	7	
<i>V</i>		h	0,33	-10	-0,34	0	0,36	0	-0,20	-10	
		D	0,33	-10	-0,34	0	0,36	0	-0,20	-10	
Inverno 12-13		<i>Todos</i>	h	0,37	16	-0,35	10	0,52	0	-0,33	-65

Continua na próxima página

Tabela E.5 – Continuação da página anterior

		PRE Fotovoltaica				Consumo				
		$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	
Inverno 12-13	<i>Todos</i>	D	0,19	-1	-0,15	40	0,36	0	-0,25	-2
	<i>FS</i>	h	0,38	-56	-0,29	32	0,54	0	-0,27	7
		D	1,00	0	-0,32	-2	1,00	0	-0,32	-2
	<i>DU</i>	h	0,35	-8	-0,40	11	0,49	0	-0,35	-6
		D	0,22	1	-0,24	10	0,29	-54	-0,21	-13
	<i>FV</i>	h	0,17	7	-0,21	-1	0,51	0	-0,31	64
		D	0,22	1	-0,23	10	0,34	-54	-0,29	-53
	<i>V</i>	h	0,26	-30	-0,23	-36	0,19	12	-0,23	4
		D	0,26	-30	-0,23	-36	0,19	12	-0,23	4

Tabela E.6 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Brent e Gás Natural.

		Brent				Gás Natural			
		$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h
2013	D	0,15	-23	-0,12	52	0,16	30	-0,16	-38
dez/13	D	0,36	-18	-0,29	-9	0,23	-20	-0,38	-10
março e abril	D	0,22	-25	-0,20	1	0,31	0	-0,30	5
09/02/2013 - 31/05/2013	D	0,26	25	-0,22	22	0,26	-6	-0,29	-28
Verão 2013	D	0,19	2	-0,20	-22	0,24	-18	-0,24	-14
17/04/2013 - 06/09/2013	D	0,28	8	-0,19	-16	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabela E.7 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis FO e API2.

		FO				API2			
		$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h
2013	D	0,12	-27	-0,13	-54	0,16	30	-0,16	-38
dez/13	D	0,37	-18	-0,28	-8	0,23	-20	-0,38	-10
março e abril	D	0,27	7	-0,25	-21	0,31	0	-0,30	5
09/02/2013 - 31/05/2013	D	0,27	-31	-0,21	-18	0,00	0	0,00	0
Verão 2013	D	0,18	3	-0,21	26	0,24	-18	-0,24	-14
02/01/2013 - 18/06/2013	D	n/a	n/a	n/a	n/a	0,24	34	-0,26	-38
19/06/2013 - 31/12/2013	D	n/a	n/a	n/a	n/a	0,14	-39	-0,14	-47

Tabela E.8 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Temperatura Média e Temperatura Máxima .

		T_{med}				T_{max}			
		$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h	$\hat{\rho}_{m\acute{a}x}$	h	$\hat{\rho}_{m\grave{i}n}$	h
2012 - 2013	D	0,11	1	-0,09	23	0,09	0	-0,08	11
	D	0,24	-18	-0,16	23	0,21	-18	-0,17	-58
	D	0,09	-53	-0,10	38	0,08	-53	-0,09	38
2012	D	0,12	26	-0,13	23	0,11	-64	-0,11	2
	D	0,19	-31	-0,26	-62	0,25	-31	-0,28	-62
	D	0,12	23	-0,17	-38	0,13	36	-0,14	-38
2013	D	0,17	1	-0,13	3	0,14	1	-0,11	-2
	D	0,20	40	-0,26	32	0,22	40	-0,29	32
	D	0,15	-67	-0,14	71	0,15	-3	-0,16	0
01/10/2012-31/05/2013	D	0,23	40	-0,18	24	0,25	40	-0,19	63
	D	0,22	-5	-0,34	20	0,21	-5	-0,38	10
	D	0,33	22	-0,22	18	0,31	22	-0,26	26
dez 2012	D	0,35	-13	-0,40	0	0,46	-4	-0,34	0

Continua na próxima página

Tabela E.8 – Continuação da página anterior

		T_{med}				T_{max}			
		$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h
dez 2012	D	0,29	-5	-0,47	-3	0,32	-5	-0,57	-3
	D	0,39	-7	-0,51	-11	0,48	-12	-0,43	-11
dez 2013	D	0,38	5	-0,57	0	0,37	1	-0,36	0
	D	0,61	-1	-0,55	0	0,69	1	-0,61	0
	D	0,37	-7	-0,73	-5	0,27	-10	-0,53	-5
Março e abril	D	0,28	10	-0,27	-3	0,34	1	-0,23	-4
	D	0,55	8	-0,52	6	0,41	8	-0,59	5
	D	0,25	-8	-0,25	23	0,21	6	-0,30	23
09/02/2013-14/05/2013	D	0,23	1	-0,17	-3	0,30	1	-0,17	-3
	D	0,36	22	-0,31	10	0,46	0	-0,36	10
	D	0,26	-14	-0,25	-24	0,25	-14	-0,24	-10
verão 2012	D	0,13	0	-0,16	-68	0,21	0	-0,17	2
	D	0,28	-46	-0,33	-32	0,24	-46	-0,36	-32
	D	0,17	-46	-0,15	-12	0,13	41	-0,13	-44
Verão 2013	D	0,17	39	-0,18	63	0,18	40	-0,20	63
	D	0,19	28	-0,34	10	0,20	21	-0,37	10
	D	0,28	20	-0,21	24	0,25	20	-0,27	24
Inverno 12-13	D	0,17	-62	-0,20	-36	0,19	-39	-0,20	-2
	D	0,40	-18	-0,32	-19	0,32	0	-0,23	-2
	D	0,23	-15	-0,17	-37	0,20	-31	-0,16	-37

Tabela E.9 Resultados do teste de correlação cruzada com as variáveis Velocidade média do Vento e Precipitação.

		v_V				R			
		$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{mín}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{mín}$	h
2012 - 2013	D	0,19	2	-0,47	0	0,12	-55	-0,12	0
	D	0,23	4	-0,44	0	0,16	4	-0,18	30
	D	0,09	69	-0,12	67	0,10	70	-0,12	71
2012	D	0,13	46	-0,38	0	0,18	8	-0,19	7
	D	0,25	1	-0,46	0	0,38	16	-0,35	-6
	D	0,14	-47	-0,19	-62	0,15	-70	-0,14	-71
2013	D	0,23	2	-0,53	0	0,18	2	-0,16	-61
	D	0,25	2	-0,44	0	0,17	-13	-0,22	14
	D	0,14	-64	-0,13	-71	0,14	-64	-0,12	-65
01/10/2012 - 31/05/2013	D	0,18	-38	-0,31	0	0,19	-4	-0,22	-16
	D	0,31	4	-0,25	-17	0,17	4	-0,41	6
	D	0,31	17	-0,23	-14	0,18	-12	-0,27	-10
dez/12	D	0,39	-3	-0,49	0	0,37	-3	-0,39	0
	D	0,43	1	-0,69	0	0,54	-2	-0,53	0
	D	0,32	-18	-0,43	-6	0,37	-18	-0,39	-6
dez/13	D	0,55	2	-0,84	0	0,60	2	-0,48	0
	D	0,50	-1	-0,71	-2	0,70	-1	-0,69	-2
	D	0,54	-3	-0,71	-5	0,72	-3	-0,57	-5
março e abril	D	0,27	2	-0,43	0	0,24	0	-0,33	1
	D	0,30	-3	-0,56	0	0,40	5	-0,35	6
	D	0,27	7	-0,33	8	0,27	-10	-0,24	-8
09/02/2013 - 14/05/2013	D	0,23	2	-0,49	0	0,21	19	-0,24	1
	D	0,42	2	-0,75	0	0,39	-9	-0,41	-8
	D	0,25	-16	-0,20	7	0,24	-16	-0,25	-14
verão 2013	D	0,15	-23	-0,30	0	0,21	1	-0,19	0
	D	0,27	-54	-0,44	0	0,32	1	-0,28	-6

Continua na próxima página

Tabela E.9 – Continuação da página anterior

		v_V				R			
		$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h	$\hat{\rho}_{máx}$	h	$\hat{\rho}_{min}$	h
verão 2013	D	0,18	-30	-0,19	-68	0,15	-69	-0,25	-67
	D	0,17	-46	-0,27	0	0,20	-4	-0,20	-16
verão 2013	D	0,31	4	-0,27	5	0,37	-9	-0,46	-8
	D	0,21	15	-0,20	-16	0,19	-17	-0,18	-7
	D	0,21	8	-0,51	0	0,23	-55	-0,17	-58
Inverno 12-13	D	0,36	-6	-0,53	0	0,32	-8	-0,28	-4
	D	0,21	-44	-0,25	-56	0,21	-46	-0,22	-12

Apêndice F

Teste de Causalidade - Resultados

Tabela F.1 Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios semanais das séries estudadas.

Variável	Y causa à <i>Granger X</i>	X causa à <i>Granger Y</i>	Sentido de Causalidade
${}_{[s]}Prd_C^{(1)}$	4,755 [2,699]	0,246[3,936]	${}_{[s]}Prd_C^{(1)} \Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$ ${}_{[d]}P_m^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}Prd_C^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	1,964[3,938]	0,185[3,937]	${}_{[s]}Prd_{CCGN}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{Alb}^{(1)}$	1,229[3,938]	19,224 [3,936]	${}_{[s]}Prd_{Alb}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$ ${}_{[s]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[s]}Prd_{Alb}^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{Fag}^{(1)}$	0,011[3,938]	12,428 [3,936]	${}_{[s]}Prd_{Fag}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$ ${}_{[s]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[s]}Prd_{Fag}^{(1)}$
${}_{[s]}I^{(1)}$	0,236[3,938]	0,787[3,937]	${}_{[s]}I^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{PREH}^{(1)}$	7,469 [3,938]	3,780 [3,088]	${}_{[s]}Prd_{PREH}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{PRET}^{(1)}$	1,699[3,938]	0,725[3,938]	${}_{[s]}Prd_{PRET}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{PREE}^{(1)}$	0,254[3,938]	0,873[3,937]	${}_{[s]}Prd_{PREE}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}Prd_{PREF}^{(1)}$	6,664 [2,042]	10,078 [3,936]	${}_{[s]}Prd_{PREF}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}C^{(1)}$	0,829[3,938]	0,977[3,936]	${}_{[s]}C^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}T_{med}^{(1)}$	2,385[3,938]	0,125[3,937]	${}_{[s]}T_{med}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}T_{max}^{(1)}$	0,738[3,938]	0,763[3,937]	${}_{[s]}T_{max}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}T_{min}^{(1)}$	3,749[3,938]	2,560[3,937]	${}_{[s]}T_{min}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}v_V^{(1)}$	0,042[3,938]	5,090 [1,991]	${}_{[s]}v_V^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$ ${}_{[s]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[s]}v_V^{(1)}$

Continua na próxima página

Tabela F.1 – Continuação da página anterior

Variável	Y causa à <i>Granger</i> X	X causa à <i>Granger</i> Y	Sentido de Causalidade
${}_{[s]}R^{(1)}$	7,755 [2,699]	5,576 [3,089]	${}_{[s]}R^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}C_{Brent}^{(1)}$	41,242 [2,165]	4,586 [4,047]	${}_{[s]}C_{Brent}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}C_{FO}^{(1)}$	115,500 [2,165]	4,190 [2,131]	${}_{[s]}C_{FO}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}C_{GN}^{(1)}$	70,303 [2,181]	4,671 [2,033]	${}_{[s]}C_{GN}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$
${}_{[s]}C_{API2}^{(1)}$	5577,915 [2,165]	0,119[4,047]	${}_{[s]}C_{API2}^{(1)} \Rightarrow {}_{[s]}P_m^{(1)}$ ${}_{[s]}P_m^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[s]}C_{API2}^{(1)}$

Nota: Valores apresentados são a estatística de teste da distribuição F . Em parênteses são os valores críticos do teste. $n \Rightarrow$ significa rejeição da hipótese nula de não causalidade com um nível de significância de 5%.

Tabela F.2 Resultados do teste de causalidade de Granger com aplicação aos valores médios mensais das séries estudadas.

Variável	Y causa à <i>Granger</i> X	X causa à <i>Granger</i> Y	Sentido de Causalidade
${}_{[m]}Prd_C^{(1)}$	1,911[4,351]	3,05E+29 [3,072]	${}_{[m]}Prd_C^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$ ${}_{[m]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}Prd_C^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{CCGN}^{(1)}$	24,908 [2,767]	3,55E+30[3,012]	${}_{[m]}Prd_{CCGN}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{Alb}^{(1)}$	0,463[4,351]	1,989[3,522]	${}_{[m]}Prd_{Alb}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{Fag}^{(1)}$	5,320 [2,767]	2,631[3,160]	${}_{[m]}Prd_{Fag}^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$ ${}_{[m]}P_m^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}Prd_{Fag}^{(1)}$
${}_{[m]}I^{(1)}$	9,497 [2,767]	3,007 [2,767]	${}_{[m]}I^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{PREH}^{(1)}$	0,564[4,351]	1,62E+29 [3,230]	${}_{[m]}Prd_{PREH}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$ ${}_{[m]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}Prd_{PREH}^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{PRET}^{(1)}$	20,104 [2,767]	47,218 [2,767]	${}_{[m]}Prd_{PRET}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{PREE}^{(1)}$	1,573[4,351]	5,23E+30 [3,438]	${}_{[m]}Prd_{PREE}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$ ${}_{[m]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}Prd_{PREE}^{(1)}$
${}_{[m]}Prd_{PREF}^{(1)}$	2,850[4,351]	4,57E+30 [4,147]	${}_{[m]}Prd_{PREF}^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$

Continua na próxima página

Tabela F.2 – Continuação da página anterior

Variável	Y causa à <i>Granger</i> X	X causa à <i>Granger</i> Y	Sentido de Causalidade
${}_{[m]}C^{(1)}$	0,393[4,351]	4,18E+29 [2,948]	${}_{[m]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}Prd_{PRE_F}^{(1)}$ ${}_{[m]}C^{(1)} \not\Rightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$ ${}_{[m]}P_m^{(1)} \Rightarrow {}_{[m]}C^{(1)}$
${}_{[m]}T_{med}^{(1)}$	5,402 [2,767]	2,01E+30 [3,581]	${}_{[m]}T_{med}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[d]}T_{max}^{(1)}$	15,714 [2,767]	4,97E+29 [3,787]	${}_{[d]}T_{max}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}T_{min}^{(1)}$	2,801 [2,767]	2,65E+30 [3,581]	${}_{[m]}T_{min}^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}v_V^{(1)}$	4,253 [2,767]	1,17E+31 [3,787]	${}_{[m]}v_V^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$
${}_{[m]}R^{(1)}$	18,159 [4,351]	3,470 [2,852]	${}_{[m]}R^{(1)} \Leftrightarrow {}_{[m]}P_m^{(1)}$

Nota: Valores apresentados são a estatística de teste da distribuição F . Em parênteses são os valores críticos do teste. $n \Rightarrow$ significa rejeição da hipótese nula de não causalidade com um nível de significância de 5%.

Apêndice G

Coeficientes do modelo

ARX(p, q_1, \dots, q_k)

Modelo E - ARX(5,5,1,4,5,2)

$$A = \begin{bmatrix} 0,9338 \\ -0,0868 \\ 0,0091 \\ -0,0115 \\ 0,0378 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0,0116 & -0,0002 & 0,0012 & 0,0020 & 0,0073 \\ -0,0087 & 0 & -0,0017 & -0,0016 & -0,0070 \\ 0,0008 & 0 & 0,0004 & 0,0007 & 0 \\ -0,0004 & 0 & 0,0003 & 0,0004 & 0 \\ -0,0005 & 0 & 0 & -0,0010 & 0 \end{bmatrix}$$

Modelo F - ARX(5,5,1,4,5,2,2)

$$A = \begin{bmatrix} -0,9315 \\ 0,0863 \\ -0,0104 \\ 0,0094 \\ -0,0360 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0,0112 & -0,0003 & 0,0009 & 0,0018 & 0,0070 & 0,0030 \\ -0,0085 & 0 & -0,0012 & -0,0018 & -0,0063 & -0,0036 \\ 0,0009 & 0 & 0,0004 & 0,0008 & 0 & 0 \\ -0,0004 & 0 & 0,0004 & 0,0003 & 0 & 0 \\ -0,0006 & 0 & 0 & -0,0010 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Modelo E₂ - ARX(1,2,2,4,2,3)

$$A = [0,9285] \quad B = \begin{bmatrix} 0,0055 & 0,0020 & 0,0021 & 0,0006 & 0,0053 \\ -0,0040 & -0,0018 & -0,0027 & -0,0004 & -0,0044 \\ & & 0,0004 & & -0,0011 \\ & & 0,0004 & & \end{bmatrix}$$

Tabela G.1 Erro Quadrático Médio e Erro Percentual Absoluto Médio Simétrico para a previsão do preço da eletricidade para a hora seguinte. Melhores resultados em destaque.

	Teste	
	SMAPE	EQM
Modelo A	2,63%	13,41
Modelo B	2,67%	13,30
Modelo C	2,68%	12,58
Modelo D	2,66%	12,40
Modelo E	2,50%	10,86
Modelo F	2,51%	10,86

Referências

- [1] Bergman, L. (1999) *European Market for Electricity - Monitoring European Deregulation 2*. Reino Unido
- [2] Conselho de Reguladores do MIBEL. (2009). Descrição do Funcionamento do MIBEL.
- [3] Dedeoglu, D., H. Kaya. 2013. Energy use, exports, imports and GDP: New evidence from the OECD countries. *Energy Policy*. **57**(2013), pp.469-476.
- [4] Esteves, J. (2011). Interligações e Mercado de Serviços de Sistema - A realidade do MIBEL no contexto Europeu. *Integração de Mercados de Energia Elétrica e Formação de Preços*.
- [5] Hyndman, T. Koehler, A. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting* **22** (2006), pp. 679-688.
- [6] Johnston, J. e DiNardo, J. ed. 2001. *Econometrics Methods*. (Hill, M. Ferrão, F. Menezes, R.) Lisboa: McGraw-Hill. (Obra original publicada em 1997).
- [7] Lopes, A. 1999. *Econometria II - Modelos DL e ADL, Raízes Unitárias e Cointegração: Uma Introdução*. ISEG - Universidade Técnica de Lisboa.
- [8] Martello, S. 2000. An Econometric Study of Weather's Effect on Prices. *in: A. Faruqui, K. Eakin, ed. Pricing in Competitive Electricity Markets*. USA: Kluwer Academic Publishers, pp.192-196.
- [9] McMenamin, J., Monforte, F. 2000. Statistical Approaches to Electricity Price Forecasting. *in: A. Faruqui, K. Eakin, ed. Pricing in Competitive Electricity Markets*. USA: Kluwer Academic Publishers, pp.249-263.
- [10] Murteira, B. Ribeiro, C. (2010). *Introdução à Estatística*. Lisboa, Escolar Editora.
- [11] Robison, S. 2005. Math Model Explains High Prices in Electricity Markets News. *Society for Industrial and Applied Mathematics*. **38**(8).
- [12] Saraiva, J., Silva, J., Leão M. (2002). *Mercados de Electricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes*. FEUP, Porto.

- [13] SCHWERT, W. Tests for Unit Roots: A Monte Carlo Investigation. *Journal of Business and Economic Statistics*. **7**(1989), pp. 147-159.
- [14] Sioshansi, F. (2013). *Evolution of Global Electricity Markets - New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Elsevier In, USA.
- [15] Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices - A Statistical Approach*. West Sussex, John Wiley & Sons.
- [16] Assembleia da República. Resolução da Assembleia da República nº 23/2006 de 19 de janeiro de 2006 Aprova o Acordo entre a República Portuguesa e o Reino da Espanha para a Constituição de Um Mercado Ibérico da Energia Elétrica, assinado em Santiago de Compostela em 1 de outubro de 2004.
- [17] CONSELHO EUROPEU Directiva 96/92/CE de 19 de dezembro de 1996 que estabelece as regras comuns para o mercado interno da eletricidade
- [18] Canty and Associates LLC home page. [Em Linha]. Disponível em <http://www.weatherbase.com/>. [Acedido em 11/03/2014].
- [19] Enterprise Europe Network (2014).[Em linha]. Disponível em <http://www.enterpriseeuropenetwork.pt/info/mercadounico/Paginas/default.aspx>. [Acedido em 02/10/2014].
- [20] Entidade Reguladora de Serviços Energéticos Home Page. (2014). Disponível em <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadoaprazo/Paginas/default.aspx>. [Acedido em 02/10/2014].
- [21] Faculty of Humanities & Social Sciences - University of Strathclyde (2014). [Em linha]. Disponível em <http://www.strath.ac.uk/aer/materials/4dataanalysisineducationalresearch/unit4/correlationsdirectionandstrength/>. [Acedido em 25/09/2014].
- [22] Informação estatística do MIBEL. (2013). [Em linha]. Disponível em <http://www.mibel.com/index.php?mod=documentos&mem=listado&relnu=10&relcategoria=151>. [Acedido em 28/02/2014].
- [23] Lutz, C. (2009). *Matlab Central Home Page* [online]. [Acedido em 14/02/2014]. Disponível em:http://www.mathworks.co.kr/matlabcentral/fileexchange/25467-granger-causality-test/content/granger_cause.m
- [24] Operador de mercado Ibérico - Polo Espanhol. (2014). Disponível em <http://www.omie.es/pt/principal/mercados-e-produtos/mercado-da-electricidade/os-nossos-mercados-de-eletricidade/mercado-d>. [Acedido 02/10/2014]
- [25] Operador de mercado Ibérico - Polo Português. [Em linha] Disponível em <http://www.omip.pt/MarketInfo/Produtos/tabid/76/language/pt-PT/Default.aspx>. [Acedido em 02/10/2014]

- [26] Rede Elétrica Nacional. (2014). Caracterização das interligações em 31 de dezembro de 2013. [Em linha]. Disponível em <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/Paginas/CaracterizacaoInterligacoes.aspx>. [Acedido em 04/10/2014].
- [27] Universidade de Washington. *UW Faculty Web Server* [Em linha]. Disponível em: <http://faculty.washington.edu/>. [Acedido em 14/10/2014].