



## **Modelação do efeito do frio extremo na saúde da população de Lisboa: contributos para um sistema de vigilância e alerta**

**Mestrado em Bioestatística**

Susana das Neves Pereira da Silva

Trabalho de Projeto orientado por:  
Professora Doutora Maria Helena Mouriño Silva Nunes  
Doutor Baltazar Emanuel Guerreiro Nunes Bravo Nunes







# Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem a colaboração e a boa vontade daqueles que enunciarei. A todos os meus sinceros agradecimentos.

À Professora Doutora Maria Helena Mouriño e ao Doutor Baltazar Nunes, orientadores deste trabalho de projeto, agradeço o apoio, conhecimentos transmitidos, disponibilidade e empenho demonstrados ao longo de todo este trabalho.

Ao Baltazar um agradecimento especial por um dia ter tido a paciência de me convidar para o ver a fazer uma análise, e me despertar o interesse por este mundo da bioestatística.

À Inês um obrigada por o sorriso diário e pelas conversas muitas vezes mudas... Foste de um apoio imenso.

Especialmente à Liliana, à Mafalda, à Ana e à Rita agradeço os comentários construtivos a este trabalho, toda a paciência, amizade, carinho e atenção demonstradas.

A todos os colegas do Departamento de Epidemiologia do Instituto nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, especialmente ao coordenador Doutor Carlos Matias Dias, por todo o apoio e incentivo.

Ao Daniel e à Carla, amigos ganhos neste mestrado, agradeço o apoio mesmo à distância.

À Doutora Sílvia Antunes, coordenadora do projeto FRIESA, e ao Dr Jorge Marques, do Instituto Português do mar e da Atmosfera, agradeço a cedência dos dados meteorológicos e a disponibilidade demonstradas ao longo deste trabalho.

À minha família e ao Bruno Joel em especial, agradeço todo o amor, amizade, carinho, palavras de incentivo e paciência. Sei que não foi um período fácil também para voçês.

Para finalizar, e porque são quem mais importa, um agradecimento muito especial aos meus filhos, Matilde e Francisco, com um pedido de desculpa pelas ausências. Espero conseguir compensar-vos...



# Resumo

## Introdução

Diversos estudos já reportaram a associação entre a temperatura ambiente e a mortalidade. Poucos estudos foram realizados, no entanto, especificamente, para o frio incluindo a comparação entre diversos índices meteorológicos. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do frio na mortalidade da população de Lisboa durante o Inverno.

## Métodos

Foram usados modelos lineares e não lineares de desfasamento distribuído (DLNM) para investigar os efeitos do frio na mortalidade por todas as causas e por doenças respiratórias e circulatórias, em diferentes desfasagens de tempo em Lisboa, e nos períodos de inverno (novembro a março) de 2002 a 2012. Foram comparados vários modelos a fim de comparar o desempenho entre diferentes índices meteorológicos (temperatura média, temperatura média e velocidade do vento, temperatura média e humidade, e temperatura *windchill*). Todos os modelos foram ajustados para os efeitos de confundimento da atividade gripal.

## Resultados

A relação entre a mortalidade e a temperatura aproxima-se da forma  $U$  ou  $V$  na série anual. Para o período de inverno a relação linear foi a que apresentou um melhor ajustamento para ambas as causas. Os resultados mostram que o efeito do frio não é imediato e persiste até entre 23 e 30 dias, enquanto que o efeito das temperaturas elevadas é imediato. O maior Risco Relativo cumulativo foi encontrado no modelo que considerou a temperatura *windchill* com um valor de 1.8 (IC95%: 1.7,2.0) para a mortalidade por todas as causas, e um valor de 2.0 (IC95%: 1.8,2.3) para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

## Conclusão

As temperaturas baixas parecem representar um bom preditor da mortalidade em Lisboa, tendo sido encontrada uma maior associação entre o frio e a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. A temperatura *windchill* parece ser um melhor preditor da mortalidade que a temperatura média.

**Palavras Chave:** Mortalidade; Frio; Efeitos Desfasados; Lisboa; FRIESA; DLNM



# Abstract

## Background

Several studies have already reported the association between ambient temperature and mortality. However, few studies have been developed specifically for cold, making a comparison between different meteorological indices. The present study aimed to assess the health effects of cold temperature on mortality in Lisbon population during winter time.

## Methods

A distributed lag linear and non-linear model (DLNM) was used to investigate the cold effects on mortality by all causes as well as, particularly, by circulatory and respiratory diseases, at different lags in Lisbon, in winter time (from November to March) between 2002 and 2012. A comparison of several models was accomplished in order to compare performance between meteorological indices combinations (mean temperature, mean temperature and wind speed, mean temperature and humidity, and *windchill*). All models were adjusted for the confounding effects of flu activity.

## Results

An *U* or *V*-shaped relationship between temperature and mortality was observed for annual series. For winter time, the best fit was found for a linear relation between temperature and both mortality causes under study. The results show that cold effect was delayed and persisted for about 23 to 30 days, whereas hot effect was acute and lasted only 1 day. The highest cumulative relative risk for all cause mortality was found using *windchill* [1.8 (CI95%: 1.7,2.0)]. For mortality by circulatory and respiratory diseases the highest cumulative relative risk was also found using *windchill* [2.0 (CI95%: 1.8,2.3)].

## Conclusion

Cold temperature seemed to be a strong predictor of mortality in Lisbon, with the strongest association found between cold temperature and circulatory and respiratory mortality. *Windchill* temperature seemed to be a better predictor of mortality than mean temperature.

**Keywords:** Mortality; Cold Temperature; Lag effects; Lisbon; FRIESA; DLNM



# Conteúdo

<b>Resumo</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento . . . . .	1
1.2 Sistemas de Vigilância . . . . .	7
1.3 Objetivos . . . . .	8
1.4 Estrutura do Trabalho . . . . .	9
<b>2. Material e métodos</b>	<b>11</b>
2.1 Dados . . . . .	11
2.1.1 Variáveis . . . . .	11
2.1.1.1 Seleção das variáveis a incluir na análise com base na literatura . . . . .	12
2.2 Metodologia . . . . .	14
2.2.1 Análise descritiva . . . . .	14
2.2.2 Correlações Cruzadas . . . . .	15
2.2.3 Modelos lineares e não lineares de desfasamento distribuídos ( <i>DLNM</i> ) . . . . .	16
2.2.3.1 Modelo Geral . . . . .	16
2.2.3.2 Modelo para descrever a relação entre a mortalidade e as variáveis biometeorológicas . . . . .	21
2.2.4 Comparação e avaliação dos modelos . . . . .	23
<b>3. Resultados</b>	<b>29</b>
3.1 Análise Descritiva . . . . .	29
3.1.1 Análise univariada . . . . .	33
3.1.2 Associação entre a Mortalidade e as variáveis meteorológicas . . . . .	34

---

3.2	Correlações Cruzadas . . . . .	37
3.3	Construção e seleção dos modelos . . . . .	40
3.3.1	Temperatura média e Gripe . . . . .	40
3.3.2	Temperatura média, Intensidade do Vento e Gripe . . . . .	45
3.3.3	Temperatura média, Humidade e Gripe . . . . .	52
3.3.4	Temperatura <i>Windchill</i> e Gripe . . . . .	59
3.4	Comparação dos modelos . . . . .	63
3.4.1	Mortalidade por Todas as Causas . . . . .	63
3.4.2	Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório . . . . .	70
<b>4.</b>	<b>Discussão e Conclusões</b>	<b>77</b>
4.1	Trabalhos futuros . . . . .	83
	<b>Bibliografia</b>	<b>84</b>
<b>A</b>	<b>Índices Biometerológicos</b>	<b>93</b>
A.1	UTCI - Índice Térmico Universal . . . . .	93
A.2	WSI - Índice de Stress . . . . .	94
<b>B</b>	<b>Sumário dos modelos considerados</b>	<b>97</b>
B.1	Mortalidade por todas as causas . . . . .	97
B.1.1	Modelo com Temperatura Média e Taxa de Incidência de Síndrome Gripal (SG) . . . . .	97
B.1.2	Modelo com Temperatura Média, Intensidade do Vento e SG . . . . .	99
B.1.3	Modelo com Temperatura Média, Humidade e SG . . . . .	101
B.1.4	Modelo com Temperatura <i>windchill</i> e SG . . . . .	103
B.2	Mortalidade por Doenças dos Aparelhos Circulatório e Respiratório . . . . .	106
B.2.1	Modelo com Temperatura Média e Taxa de Incidência de Síndrome Gripal (SG) . . . . .	106
B.2.2	Modelo com Temperatura Média, Intensidade do Vento e SG . . . . .	108
B.2.3	Modelo com Temperatura Média, Humidade e SG . . . . .	110
B.2.4	Modelo com Temperatura <i>windchill</i> e SG . . . . .	113

# Lista de Figuras

1.1	Ilustração do efeito do vento . . . . .	3
1.2	Ilustração do efeito do vento . . . . .	4
1.3	<i>Windchill</i> para diversas temperaturas e intensidades de vento com guia de interpretação direta [1]. . . . .	5
3.4	Mortalidade por todas as causas de 2002 a 2012. . . . .	29
3.5	Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de 2002 a 2012. . . . .	30
3.6	Série temporal da temperatura mínima de 2002 a 2012. . . . .	30
3.7	Série temporal da temperatura média de 2002 a 2012. . . . .	31
3.8	Série temporal da temperatura máxima de 2002 a 2012. . . . .	31
3.9	Série temporal da temperatura <i>windchill</i> de 2002 a 2012. . . . .	31
3.10	Série temporal da intensidade do vento de 2002 a 2012. . . . .	32
3.11	Série temporal da humidade de 2002 a 2012. . . . .	32
3.12	Série temporal da taxa de incidência de Síndrome Gripal (/100000 habitantes) de 2002 a 2012. . . . .	32
3.13	Mortalidade média diária agrupada de acordo com as temperaturas mínima, média e máxima na série de inverno. . . . .	34
3.14	Mortalidade média diária agrupada de acordo com a temperatura <i>windchill</i> , intensidade do vento, humidade e taxa de incidência de Síndrome Gripal. . . . .	35
3.15	"Boxplot" da mortalidade por doenças por todas as causas por dia da semana, por mês e por época. . . . .	36
3.16	"Boxplot" da mortalidade por Doenças dos aparelhos Circulatório e Respiratório por dia da semana, por mês e por época. . . . .	36
3.17	Gráfico das correlações cruzadas com a mortalidade por todas as causas. . . . .	38
3.18	Gráfico das correlações cruzadas com a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	39
3.19	Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do <i>lag</i> no modelo com temperatura média e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	41
3.20	Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média e gripe. . . . .	42
3.21	Gráfico de contorno relativo doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média e gripe. . . . .	42

---

3.22	Risco Relativo Global da temperatura média para mortalidade por todas as causas e por doenças do aparelho circulatório e respiratório. . . . .	42
3.23	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura média para mortalidade por todas as causas. . . . .	44
3.24	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	44
3.25	Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do <i>lag</i> no modelo com temperatura média, vento e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	46
3.26	Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe. . . . .	47
3.27	Gráfico de contorno relativo a doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe. . . . .	47
3.28	Gráfico 3D do efeito da intensidade do vento ao longo desta e do <i>lag</i> no modelo com temperatura média, vento e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	47
3.29	Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a intensidade do vento e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe. . . . .	48
3.30	Gráfico de contorno relativo a doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a intensidade do vento e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe. . . . .	48
3.31	Risco Relativo Global da temperatura média e da Intensidade do vento para todas as causas e doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe. . . . .	49
3.32	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos (0, 5, 10 e 20), e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura média para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, vento e gripe. . . . .	50
3.33	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe. . . . .	50

---

3.34	Gráfico de RR por intensidade do vento em <i>lags</i> específicos (0, 5, 10 e 20), e de RR por <i>lag</i> a intensidades do vento correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da sua distribuição para a mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, vento e gripe. . . . .	51
3.35	Gráfico de RR por intensidade do vento em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a intensidades do vento correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da sua distribuição para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe. . . . .	51
3.36	Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do <i>lag</i> no modelo com temperatura média, humidade e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	53
3.37	Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	54
3.38	Gráfico de contorno relativo a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	54
3.39	Gráfico 3D do efeito da humidade e do <i>lag</i> no modelo com temperatura média, humidade e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	54
3.40	Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	55
3.41	Gráfico de contorno relativo mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e <i>lag</i> em modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	55
3.42	Risco Relativo Global da temperatura média para mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e vento. . . . .	56
3.43	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	57
3.44	Gráfico de RR por temperatura média em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	57

---

3.45	Gráfico de RR por humidade em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da humidade para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . . .	58
3.46	Gráfico de RR por humidade em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da humidade para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e gripe. . . .	58
3.47	Gráfico 3D do efeito da temperatura windchill e do <i>lag</i> no modelo com windchill e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . .	60
3.48	Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com a temperatura <i>windchill</i> e <i>lag</i> em modelo com temperatura <i>windchill</i> e gripe. . . . .	60
3.49	Gráfico de contorno relativo à mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura <i>windchill</i> e <i>lag</i> em modelo com temperatura <i>windchill</i> e gripe. . . . .	60
3.50	Risco Relativo Global da temperatura <i>windchill</i> para a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.	61
3.51	Gráfico de RR por windchill em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas <i>windchill</i> correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição de temperatura <i>windchill</i> para a mortalidade por todas as causas. . . . .	62
3.52	Gráfico de RR por windchill em <i>lags</i> específicos, e de RR por <i>lag</i> a temperaturas <i>windchill</i> correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura <i>windchill</i> para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. . . . .	62
3.53	Gráficos com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes aos percentis 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média ou temperatura <i>windchill</i> para a mortalidade por todas as causas. A referência é o Percentil 50 das séries. . . . .	65
3.54	Gráfico Com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 das séries de temperaturas (média ou <i>windchill</i> ), tendo como referência o seu Percentil 50 para a mortalidade por todas as causas.	66
3.55	Detalhe dos ajustamentos nas épocas 2002-2003, 2004-2005 e 2011-2012 para a mortalidade por todas as causas. . . . .	69
3.56	Gráficos com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes aos percentis 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média ou temperatura <i>windchill</i> para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. A referência é o Percentil 50 das séries. . . . .	72

---

3.57	Gráfico com curvas <i>lag</i> -resposta para as temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 das séries de temperaturas (média ou <i>windchill</i> ), tendo como referência o seu Percentil 50 para a mortalidade por doenças do aparelho circulatório e respiratório. . . . .	73
3.58	Detalhe dos ajustamentos nas épocas 2002-2003, 2004-2005 e 2011-2012 para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.	76
A.1	Conceito climático do UTCI, calculado a partir de um modelo termo fisiológico e de um manequim térmico. . . . .	93



# Lista de Tabelas

2.1	Codificação do óbitos de acordo com a Codificação Internacional de Doença (CID) na sua 10 <sup>a</sup> revisão. . . . .	12
2.2	Variáveis disponíveis e variáveis meteorológicas determinadas. . . . .	13
2.3	Lista das funções testadas para cada um dos modelos pretendidos . . . . .	24
3.4	Medidas descritivas das variáveis para o período de inverno. . . . .	33
3.5	Resultado dos modelos seleccionados para a mortalidade por todas as causas. . . . .	64
3.6	RR das temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 da temperatura (média ou <i>windchill</i> ) ao longo do lag. . . . .	67
3.7	Riscos relativos acumulados em cada um dos modelos relativos à mortalidade por todas as causas. . . . .	68
3.8	Resultado dos modelos seleccionados para a mortalidade por doenças do aparelho circulatório e respiratório. . . . .	71
3.9	RR das temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 da temperatura (média ou <i>windchill</i> ) ao longo do lag. . . . .	74
3.10	Riscos relativos acumulados em cada um dos modelos relativos à mortalidade por doenças do aparelho circulatório e respiratório. . . . .	75



# Lista de abreviaturas

C&R: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório;

CID10: Codificação Internacional de Doença, 10<sup>a</sup> Revisão;

df: Graus de liberdade;

DGS: Direção-Geral de Saúde;

DLNM: Modelos lineares e não lineares de desfasamento distribuído;

INE: Instituto Nacional de Estatística;

INSA: Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge;

IPMA: Instituto Português do Mar e da Atmosfera;

MAE: Erro absoluto médio;

NET: Temperatura efetiva;

*ns*: *natural spline*;

OMS: Organização Mundial de Saúde;

QAIC: Critério de Informação de Akaike relativo à quasi-verosimilhança;

QBIC: Critério de Informação Bayesiano relativo à quasi-verosimilhança;

RMSE: Desvio quadrático médio;

RR: Risco Relativo;

TC: Mortalidade por todas as causas;

*thr*: *threshold*;

UTCI: Índice Térmico Universal;

WSI: Índice de Stress



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

A influência das condições meteorológicas em aspetos tais como o conforto e a saúde não representa, atualmente, um assunto novo [2, 3, 4]. A temperatura do ar tem vindo a ser, aliás, considerado um dos elementos com maior efeito em processos biológicos e, consequentemente, nas atividades humanas [4].

Estudos recentes sobre a mudança do clima, tanto a nível nacional [5, 6] como internacional [7], permitiram produzir evidência científica que aumentou a certeza sobre o contributo das alterações climáticas na carga global de doença [4, 8] e a consciencialização social, governamental e política sobre a necessidade de reduzir o impacto das alterações climáticas na saúde, entre outros aspetos relevantes das sociedades modernas [7].

Vários estudos, nomeadamente, baseados na análise de séries longas, e desenvolvidos principalmente no Hemisfério Norte, têm vindo a reportar um aumento da temperatura média, bem como um aumento de episódios extremos em número de ocorrências, duração e intensidade [4, 9]. Estudos efetuados em Portugal Continental confirmam a mesma tendência significativa de aumento, tanto na análise das temperaturas máximas como, também, mínimas [10]. Apesar de, em Portugal, se ter vindo a observar um aumento da temperatura média mínima, o mesmo tem-se vindo a observar para a frequência de episódios extremos, tais como a ocorrência de ondas de frio [6].

Uma vez que a saúde humana tem vindo a ser reconhecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como uma componente sujeita a grande influência das alterações climáticas na Europa [11], torna-se importante conhecer a vulnerabilidade da população às condições meteorológicas adversas, designadamente através da monitorização das temperaturas extremas baixas.

De facto, a exposição prolongada a ambientes extremamente frios pode levar à depressão, indolência, asma, infeções respiratórias, queimaduras, e ao agravamento ou a descompensação de situações crónicas tais como hipertensão arterial, acidente vascular cerebral e insuficiência cardíaca. As causas de morte mais comuns por frio são as doenças cardíacas coronárias, acidentes vascular cerebrais e doenças respiratórias [11].

Os efeitos do frio na saúde representam algo difícil de ilustrar, mas são reconhecidos como seus principais fatores de risco interferentes as condições sócio demográficas, económicas e de saúde, bem como as características das residências. Vários estudos já reportaram efeitos das temperaturas baixas e ondas de frio na saúde, nomeadamente, na mortalidade, nas admissões hospitalares e no recurso aos serviços de urgência [12, 13, 14, 15, 16], especialmente, devido a doenças cardiovasculares e respiratórias [12, 14, 15, 17, 18, 19]. Tem-se, também, vindo a observar maior frequência desses eventos na população idosa [16, 20, 21, 22, 23].

Em Portugal também se tem vindo a observar uma preocupação com as temperaturas extremas baixas, tendo sido criado recentemente um "Plano de Contingência de Temperaturas Extremas Adversas – Módulo Inverno" da responsabilidade da Direção-Geral da Saúde que visa a prevenção e minimização dos efeitos negativos do frio extremo e das infeções respiratórias, nomeadamente da gripe, na saúde da população em geral e dos grupos de risco em particular [24].

A monitorização do frio extremo já é efetuada em alguns países da Europa podendo considerar exclusivamente dados meteorológicos, baseada em modelos teóricos, ou considerar o resultado da estimação do risco a partir da relação entre indicadores meteorológicos e a mortalidade.

Para a primeira abordagem indicada no parágrafo anterior, diversos índices biometeorológicos, derivados das variáveis meteorológicas primárias - como a temperatura mínima e máxima, a humidade, a intensidade do vento, e a pressão atmosférica - foram desenvolvidos e propostos ao longo do tempo, tendo em vista a sua leitura direta como medida de alerta. Contudo, tratando-se de modelos teóricos, a maioria dos índices não se mostraram fortemente relacionados com as reações fisiológicas do Homem. De entre os mais recentes, e divulgados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera, destacam-se: o Índice Térmico Universal (*UTCI* - "*Universal Thermal Climate Index*"); o Índice de stress (*WSI* - "*Weather Stress Index*") que tem por base o cálculo da temperatura efetiva (*NET* - "*Net Effective Temperature*"); e o Índice de arrefecimento ou arrefecimento pelo vento (*windchill*).

O UTCI começou a ser desenvolvido em 1999 tendo a sua definição mais recente sido estabelecida em 2009 [25] e é aplicável a todos os climas. Este índice tem em consideração as trocas de fluxos de calor bem como a termo-regulação do indivíduo. Reflete uma maior preocupação na modelação do balanço energético, pois considera os efeitos térmicos em todo o corpo, sendo independente das características do indivíduo (considera como referência a atividade de uma pessoa com uma velocidade de 4 Km/h).

O WSI de um dia específico é obtido pelo cálculo do NET (*Net Effective Temperature*) e do desvio que este tem relativamente ao valor médio para o local [26]. Pode ser aplicável tanto em condições de calor como de frio, podendo ser usado ao longo de todas as estações do ano. São usados no seu cálculo a temperatura, a humidade relativa e a intensidade do vento. O anexo A apresenta estes índices em maior pormenor.

O *windchill* corresponde à sensação de arrefecimento causada pelo efeito conjunto da velocidade do vento com valores baixos da temperatura do ar. Será usado no âmbito deste trabalho, o que justifica uma descrição mais detalhada do mesmo, a apresentar nos parágrafos seguintes.

A temperatura *windchill* expressa o efeito de arrefecimento do ar em movimento a diferentes temperaturas e indica também, de uma forma geral, a quantidade de calor perdidas pelo corpo. Usa a mesma unidade da temperatura - grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) - permitindo comparar as condições de frio sentido com o que se sentiria num dia sem vento. As figuras 1.1 e 1.2 ilustram o efeito do vento.



Figura 1.1: Ilustração do efeito do vento

(adaptado de

[http://thingsishouldprobablyknow.blogspot.pt/2011/11/how-is-feels-like-temperature\\_14.html](http://thingsishouldprobablyknow.blogspot.pt/2011/11/how-is-feels-like-temperature_14.html))

Pode ser calculado de diversas formas, sendo o método JAG/TI (*Joint Action Group on Temperature Indices*) o método de cálculo mais usado e que se traduz pela equação



Figura 1.2: Ilustração do efeito do vento  
(retirado da *homepage* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera)

seguinte:

$$WC = 13,12 + 0,6215 \times T - 11,37 \times (v \times 3,6)^{0,16} + 0,3965 \times T \times (v \times 3,6)^{0,16} \quad (1.1)$$

em que  $T$  (em °C medida a 1.50 m) designa a temperatura e  $v$  (em m/s medido a 10 m) corresponde à intensidade do vento.

A temperatura *windchill* foi definida para o intervalo de temperaturas entre o -46 e os +10 °C e para velocidades do vento entre 1.3 e 49.0 m/s. Os períodos de sol podem aumentar a temperatura *windchill* entre 6 e 10 graus °C, relativamente ao valor calculado pela expressão 1.1. Tal verifica-se porque o método não tem em conta a luz solar [27] como se pode verificar pela expressão 1.1. Isso não implica, no entanto, que não possa ser modelada a temperatura *windchill* sem ser efetuada uma interpretação direta do seu valor. A figura 1.3 apresenta uma tabela com os índices calculados para diversas temperaturas e intensidades de vento [1]. Numa interpretação direta considera-se que quando o valor da temperatura *windchill* se encontra acima de -27 °C o risco de congelamento é baixo para a maioria das pessoas.

Alguns autores defendem no entanto, que apesar destes índices biometeorológicos poderem prever eventos extremos, a tomada de decisão para emissão de um alerta à população não deve ter em conta a sua informação isolada mas também informação adicional resultante de estudos de avaliação de risco para a saúde humana [4].

Neste seguimento surge a segunda abordagem, relativa à monitorização do frio referida atrás, a qual corresponde à estimação do risco pela relação entre variáveis meteorológicas/biometeorológicas e a mortalidade. Neste contexto, a estimação do risco deve ser baseada no efeito do clima sobre um indicador de saúde (neste caso a mortalidade)

### Environment Canada Wind Chill Chart

**Actual Air Temperature  $T_{air}$  (°C)**

Wind Speed $V_{10\text{ m}}$ (km/h)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

where

$T_{air}$  = Actual Air Temperature in °C

$V_{10\text{ m}}$  = Wind Speed at 10 metres in km/h (as reported in weather observations)

**Notes:**

1. For a given combination of temperature and wind speed, the wind chill index corresponds roughly to the temperature that one would feel in a very light wind. For example, a temperature of -25°C and a wind speed of 20 km/h give a wind chill index of -37. This means that, with a wind of 20 km/h and a temperature of -25°C, one would feel as if it were -37°C in a very light wind.
2. Wind chill does *not* affect objects and does *not* lower the actual temperature. It only describe how a human being would feel in the wind at the ambient temperature.
3. The wind chill index does *not* take into account the effect of sunshine. Bright sunshine may reduce the effect of wind chill (make it feel warmer) by 6 to 10 units.

<b>Frostbite Guide</b>
Low risk of frostbite for most people
Increasing risk of frostbite for most people within 30 minutes of exposure
High risk for most people in 5 to 10 minutes of exposure
High risk for most people in 2 to 5 minutes of exposure
<b>High risk for most people in 2 minutes of exposure or less</b>

Figura 1.3: *Windchill* para diversas temperaturas e intensidades de vento com guia de interpretação direta [1].

e não apenas em indicadores do clima *per si*. Este tipo de vigilância deve ser atempada, específica para uma população/área e deve ter em consideração a incerteza do seu cálculo [28].

Existem diversos estudos que relacionam a mortalidade com variáveis climatológicas numa vertente de verificação de associação causa e efeito. Por outro lado o desenvolvimento de modelos de previsão com vista à criação de sistemas de vigilância é ainda uma área com pouca informação passível de ser retirada de estudos anteriores. Na Europa alguns países já têm trabalhos nesta área, destacando-se França [14, 29], a República da Macedónia [30, 31] e a Alemanha [32].

O Instituto Francês de Monitorização da Saúde Pública em colaboração com a *Météo-France* acompanha diariamente o impacte das ondas de frio na saúde, emitindo alertas para as autoridades no caso de previsões adversas [14]. Depois de diversos estudos concluiu que uma combinação entre as temperaturas mínima e máxima, com *thresholds* definidos para cada local, são os melhores indicadores para prever o impacto na saúde de temperaturas frias sobre a mortalidade.

Na República da Macedónia, fontes governamentais, com o apoio da OMS, divulgam informação e alertas num portal disponível para o público em geral, baseado num sistema de alerta de ondas de frio regional, que funciona entre setembro e abril, com vários níveis de alerta consoante os limiares de temperatura definidos por mês e por região [30].

Outro exemplo é a Alemanha onde *German Meteorological Service* usa o modelo Klima-Michel, que é um modelo de equilíbrio de energia para o organismo humano, para estimar a temperatura aparente [32].

Portugal, através do projeto de investigação *Modelação e previsão do efeito do frio extremo na saúde da população: a base para o desenvolvimento de um sistema de alerta em tempo real - FRIESA* financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (EXPL/DTP-SAP/1373/2013) e desenvolvido entre o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e o Instituto Nacional de Saúde Dr Ricardo Jorge (INSA), criou um sistema de vigilância e alerta do frio extremo para os distritos de Lisboa e do Porto que se encontra numa fase piloto.

Este sistema considerou a temperatura mínima como variável explicativa da mortalidade e verificou existirem diferenças regionais, sendo o risco associado a uma mesma temperatura baixa superior em Lisboa relativamente ao Porto. Este resultado foi de en-

contro ao descrito na literatura relativo à necessidade dos sistemas de vigilância serem específicos para uma população/área [28].

Não tendo sido possível, no decorrer do projeto *FRIESA*, a avaliação da pertinência de inclusão de outras variáveis meteorológicas este trabalho é desenvolvido para contribuir com informação dessa pertinência no sistema de vigilância que se encontra em fase piloto.

Note-se que a mortalidade em Portugal, tal como em grande parte dos países do Hemisfério Norte, é superior nos meses mais frios do ano do que nos meses mais quentes [3, 33, 34, 35, 36], estando por vezes o excesso de óbitos nos meses mais frios associado a epidemias de gripe. O impacto do inverno na mortalidade é usualmente superior em países com climas temperados, tal como Portugal, comparativamente a países que experienciam invernos extremamente frios. Isso é explicado em grande parte pelo facto das populações que vivem em regiões mais frias se protegerem melhor, designadamente, devido às suas características culturais, as quais incluem casas mais bem aquecidas e o uso de roupas mais quentes ao ar livre, que ainda não são comuns no sul da Europa o que pode, eventualmente, resultar numa maior perda de vidas durante o tempo frio de inverno [30]. De referir que há condições climatéricas que embora não extremas, por conjugarem diversos fatores, podem ter graves impactes sobre a saúde humana [4].

Os últimos episódios, muito mediáticos, de excessos de mortalidade no inverno, ocorridos em Portugal Continental (fevereiro/março de 2012 e janeiro/fevereiro de 2015) foram, tal como em vários países europeus, resultantes em parte das temperaturas baixas que se observaram nesses períodos em quase todo o território, originando ondas de frio [37, 38], mas também poderão ser atribuíveis ao aumento da atividade gripal [39, 40].

## 1.2 Sistemas de Vigilância

Um sistema de vigilância em Saúde Pública consiste, por definição, na recolha, contínua e sistemática, e na análise, interpretação e disseminação, sistemática e contínua, de informação relativa a um evento relacionado com a saúde, necessária ao planeamento, implementação, e avaliação de medidas de intervenção em Saúde Pública [41]. Tem em vista a redução da morbilidade, mortalidade e a melhoria do estado de saúde das populações. Este tipo de vigilância pode:

- servir como um sistema de alerta para emergências de saúde pública iminentes (*early warning system*);
- documentar o impacto de uma intervenção, ou acompanhar o progresso tendo em vista as metas especificadas;
- monitorizar e clarificar a epidemiologia dos problemas de saúde, para permitir a definição de prioridades e para informar os decisores na área da saúde pública por forma a suportar as suas estratégias.

A disseminação da informação proveniente destes sistemas poderá ser usada para a ação imediata em saúde pública, formulação de hipóteses de investigação ou para o planeamento e avaliação de programas [41].

Os sistemas de vigilância e alerta (*Early Warning System*) compreendem 7 fases:

1. Previsão do tempo ou evento meteorológico extremo;
2. Estimação do impacto ou efeito do evento previsto na saúde humana (mortalidade ou morbidade);
3. Definição do Aviso ou grau de Alerta;
4. Plano de resposta;
5. Monitorização do impacto;
6. A avaliação do sistema e seu impacto;
7. Ajustar o sistema.

Em Portugal existem diversos sistemas de vigilância, sendo importante, no âmbito da relação entre variáveis meteorológicas e a mortalidade, referir o Sistema de Vigilância ÍCARO (*I*mportância do *CA*lor, *R*epercussões sobre os *O*bitos) [42, 43]. Este sistema de vigilância encontra-se em funcionamento desde 1999, e tem como objetivo avaliar diariamente os possíveis efeitos das temperaturas elevadas na mortalidade. Permite a monitorização, vigilância, estimativa e análise de risco das temperaturas elevadas com potencial impacto na mortalidade.

### 1.3 Objetivos

Na secção 1.2, o sistema de vigilância ÍCARO foi referido como sendo um exemplo de um procedimento elaborado com base na relação entre variáveis meteorológicas e a mortalidade, desenvolvido para situações de ondas de calor.

A importância da elaboração de um sistema de vigilância similar ao ÍCARO mas relativo a temperaturas baixas, está na génese do presente projeto. Neste contexto, já foram realizados estudos anteriores que apontam que os efeitos das temperaturas baixas não são imediatos iniciando-se no dia seguinte a ocorrerem e atingindo o efeito máximo entre o sexto e o sétimo dia [44].

Assim, este trabalho pretende contribuir para a ultima fase dos sistemas de vigilância e alerta, ou seja, para o ajuste do sistema FRIESA que se encontra em fase Piloto.

O objetivo deste trabalho compreende 3 componentes:

1. Desenvolvimento de um modelo que permita avaliar o efeito do frio extremo na saúde da população com 65 e mais anos residente no distrito de Lisboa;
2. Avaliação da pertinência de inclusão de variáveis adicionais, nomeadamente o vento e a humidade, bem como da performance do *windchill*;
3. Estimação do risco ajustado à população do distrito de Lisboa.

Em resumo, o principal objetivo deste projeto consiste na construção de modelos que permitam facultar aos decisores políticos os meios apropriados de atuação em situações de perigosidade associadas ao frio com efeitos na população podendo contribuir para a mitigação dos seus possíveis efeitos adversos.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é constituído por 4 capítulos e 2 anexos.

No atual capítulo procedeu-se a uma breve introdução aos efeitos do frio na saúde com descrição de alguns índices biometeorológicos de possível interesse para explicar a mortalidade. Foi também efetuada uma breve referência a diversos sistemas de vigilância, nomeadamente sistemas de vigilância para o frio descritos na literatura bem como ao ÍCARO, sistema de vigilância nacional para as temperaturas elevadas. São ainda elencados os objetivos deste trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a base de dados original, as variáveis a estudar e a operacionalização das mesmas. É, ainda, efetuada a descrição da metodologia que se propõe para a modelação dos óbitos e dos métodos utilizados para a avaliação da mesma.

No terceiro capítulo são apresentados os resultados obtidos com base no ajustamento dos modelos, procedendo-se à apresentação de gráficos com os efeitos das variáveis meteorológicas consideradas em cada um dos modelos, bem como os seus riscos estimados.

A discussão, conclusões e desenvolvimentos futuros associados a este projeto são então apresentados no quarto e último capítulo.

Por fim, os anexos contêm uma descrição de dois índices biometeorológicos referidos na introdução e os sumários dos modelos finais.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Dados

Os dados de mortalidade foram cedidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), e correspondem aos óbitos diários ocorridos no distrito de Lisboa entre 2002 e 2012. Estes dados continham estratificação por dois grupos etários (0 aos 64, e 65 e mais anos) e por capítulos conforme a tabela 2.1. Destas estratificações, foi opção neste trabalho estudar apenas um dos grupos etários (65 e mais anos) e agrupar os óbitos da seguinte forma: todas as Causas (TC), e doenças dos aparelhos circulatório e respiratório (C&R).

A população média anual residente no distrito de Lisboa para o grupo etário dos 65 e mais anos foi também cedida pelo INE.

Os dados meteorológicos cedidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) para o período de tempo compreendido entre 2002 e 2012, são referentes à estação meteorológica de Lisboa - Gago Coutinho.

#### 2.1.1 Variáveis

A primeira parte da tabela 2.2 representa as variáveis disponíveis com uma breve descrição das mesmas. Na sua maioria, são variáveis do tipo numérico excetuando-se a variável relativa à data do óbito. Com o objetivo de explorar o máximo de relações possíveis entre as variáveis e considerando as mais recentes medidas climatológicas associadas ao conforto térmico, foram, ainda, calculados alguns índices meteorológicos adicionais que são apresentados na segunda parte da mesma tabela 2.2.

Tabela 2.1: Codificação do óbitos de acordo com a Codificação Internacional de Doença (CID) na sua 10<sup>a</sup> revisão.

---

<i>Capítulo</i>	<i>Descrição</i>
I	Algumas doenças infecciosas e parasitárias
II	Tumores (Neoplasmas)
III	Doenças do sangue e dos órgãos hematopoéticos e alguns transtornos imunitários
IV	Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas
V	Transtornos mentais e comportamentais
VI	Doenças do sistema nervoso
VII	Doenças dos olhos e anexos
VIII	Doenças do ouvido e da apófise mastóide
<b>IX</b>	<b>Doenças do aparelho circulatório</b>
<b>X</b>	<b>Doenças do aparelho respiratório</b>
XI	Doenças do aparelho digestivo
XII	Doenças da pele e do tecido subcutâneo
XIII	Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo
XIV	Doenças do aparelho geniturinário
XV	Complicações da gravidez, parto e puerpério
XVI	Algumas afecções originadas no período perinatal
XVII	Malformações congénitas, deformidades e anomalias cromossómicas
XVIII	Sintomas, sinais e achados anormais de exames clínicos e de laboratório não classificados em outra parte
XX	Causas externas de morbidade e de mortalidade

---

### 2.1.1.1 Seleção das variáveis a incluir na análise com base na literatura

Para a seleção das variáveis a incluir na análise é usual o recurso a análises preliminares dos dados bem como a bibliografia existente por forma a identificar as variáveis que melhor possam explicar a variável de interesse, neste caso os óbitos ocorridos.

As variáveis que mais frequentemente foram identificadas na literatura como potenciais variáveis explicativas de excesso de mortalidade são: a temperatura mínima, máxima e média; a humidade; o *windchill* (calculado com as variáveis temperatura e intensidade do vento); o Índice Térmico Universal - UTCI (calculado com as variáveis temperatura, intensidade do vento, humidade e temperatura média radiante); e o WSI.

No inverno, devido ao frio, a população passa mais tempo dentro de casa com menor circulação de ar e em ambientes superlotados o que favorece a propagação de infeções

Tabela 2.2: Variáveis disponíveis e variáveis meteorológicas determinadas.

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>
Data	Data de ocorrência do óbito
TC	Número de óbitos por todas as causas no grupo etário dos 65 e mais anos de idade
C&R	Número de óbitos por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no grupo etário dos 65 e mais anos de idade
tmin	Temperatura mínima registada no dia ( $^{\circ}\text{C}$ )
tmax	Temperatura máxima registada no dia ( $^{\circ}\text{C}$ )
t_9	Temperatura registada às 9 horas ( $^{\circ}\text{C}$ )
f_9	Humidade registada às 9 horas (%)
v10m_9	Intensidade do vento registada às 9 horas (m/s)
pop	População média anual residente no distrito de Lisboa pertencente ao grupo etário dos 65 e mais anos de idade
tmedia	Média entre as temperaturas máxima e mínima registadas no dia $((tmax_k + tmin_k)/2)$
wc_9	<i>Windchill</i> (calculado com as variáveis temperatura e intensidade do vento) na hora correspondente (9 horas)

e o aumento de doenças infecciosas respiratórias [45]. Assim, e sendo sabido que a mortalidade aumenta no inverno, não só devido ao frio mas também às epidemias de gripe e outros vírus respiratórios, situações que frequentemente ocorrem em simultâneo, a análise será ajustada para o efeito de confundimento da atividade gripal considerando as taxas de incidência de síndrome gripal (SG) como indicador.

As taxas de incidência de SG são estimadas semanalmente com base na informação proveniente da rede Médicos Sentinela (MS), que é uma rede de participação voluntária constituída por médicos de medicina geral e familiar do Serviço Nacional de Saúde e com lista de utentes atribuída.

Cada médico reporta à rede todos os casos de SG por ele diagnosticados de entre os utentes da sua lista. São depois contabilizados todos os casos reportados em cada uma das semanas sendo calculada a taxa de incidência semanal por 100000 habitantes considerando como população em risco todos os utentes das listas dos médicos que estiveram ativos (enviaram algum registo ou informaram não ter registos nessa semana). Estas taxas provisórias são divulgadas semanalmente à quinta-feira no boletim de vigilância epidemiológica da gripe publicado pelo Instituto Nacional de Saúde Dr Ricardo Jorge [46]. No final as taxas semanais são recalculadas sendo os novos valores considerados como as taxas de incidência de Síndrome Gripal definitivas. Como o objetivo deste

trabalho é contribuir para um sistema de vigilância e alerta serão usadas as taxas provisórias pois são as que existirão em tempo real para introdução num modelo. Como se irá trabalhar numa base diária e este indicador é semanal, assumiu-se que todos os dias da semana apresentam o mesmo valor de taxa de incidência de SG.

Neste trabalho, serão estudadas como variáveis climatológicas explicativas da mortalidade, por todas ou causas ou por doenças dos aparelhos Circulatório e Respiratório: a temperatura; a temperatura e intensidade do vento; a temperatura e a humidade; e a temperatura *windchill*. A taxa de incidência de SG também será considerada para eliminar o seu possível efeito de confundimento.

## 2.2 Metodologia

Nesta secção são apresentados os métodos estatísticos a utilizar na análise de dados deste estudo.

Na secção 2.2.1 é relatada a análise descritiva das variáveis disponíveis.

Na secção 2.2.2 é descrito o procedimento de análise de correlações cruzadas cujos resultados são necessário para o reconhecimento das variáveis mais fortemente correlacionadas com as variáveis resposta em estudo - mortalidade por todas as causas e mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório -.

Encontradas as variáveis mais correlacionadas proceder-se-á à modelação com recurso a modelos de desfasamento distribuído [47] conforme descrito na subsecção 2.2.3 onde é efetuada uma descrição dos modelos lineares e não lineares de *lag* distribuído aplicados a séries temporais.

### 2.2.1 Análise descritiva

A análise descritiva dos dados permite identificar informações relevantes das variáveis, nomeadamente a existência de *missings*, a identificação de valores atípicos (*outliers*) e, ainda, a quantificação da variabilidade presente nos dados. Serão, ainda, construídas tabelas e alguns gráficos para apresentação destes resultados.

Para a análise descritiva será usada a função *mass* do pacote *epicalc* do programa R [48] que fornece as estatísticas básicas de cada variável da base de dados, nomeadamente

medidas de localização (média e mediana) e também de dispersão (desvio-padrão).

Serão analisadas também as séries temporais -coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo- de forma a entender a sua estrutura. Será analisada a tendência e sazonalidade pela análise das suas representações gráficas.

## 2.2.2 Correlações Cruzadas

A correlação cruzada é uma medida de similaridade entre dois sinais em função de um atraso aplicado a um deles, servindo para identificar quais as variáveis com uma maior correlação com a variável resposta em estudo - Mortalidade por todas as causas e mortalidade por doenças do aparelhos circulatório e respiratório-.

Dá informação de que forma se comporta a variável dependente relativamente a alterações na variável explicativa. Uma correlação cruzada negativa indica que o aumento/diminuição da variável explicativa se traduz numa diminuição /aumento da variável resposta. Ou seja, que estas têm sinais contrários a determinados desfazamentos. Permitirá selecionar de entre as temperaturas (mínima, média ou máxima) a que se apresenta mais correlacionada com as variáveis resposta para ser incluída na modelação.

Para determinação da função de correlação cruzada será usada a função *prewitten* do pacote *TSA* do programa R [48], que branqueia a série temporal de acordo com um modelo ARIMA (*Autoregressive integrated moving average*). Não será definido à partida o modelo, permitindo que a própria função selecione o melhor modelo, tendo em conta o critério de Informação de Akaike (AIC), ajustado para a mortalidade, modelo este que depois será aplicado a ambas as séries.

As séries incompletas, caso existam, serão completadas para análise das correlações cruzadas com auxílio da função *na.approx* do pacote *zoo* do programa R [48] que completa a série de dados por interpolação linear.

A partir dos resultados obtidos, será selecionada a variável correspondente à temperatura a usar na modelação de entre as opções possíveis, ou seja, temperaturas mínima, média ou máxima.

### 2.2.3 Modelos lineares e não lineares de desfasamento distribuídos (*DLNM*)

Tendo conhecimento das variáveis mais correlacionadas com a mortalidade passar-se-á à modelação tendo em vista a seleção, de entre os modelos construídos, daquele que melhor a caracterize.

#### 2.2.3.1 Modelo Geral

Os modelos de *lag* distribuído (*DLNM*) [47, 49] propostos por Gasparrini são uma ferramenta muito útil pela sua flexibilidade para descrever simultaneamente dependências lineares ou não lineares desfasadas no tempo, designadas como associações exposição-lag-resposta - associações em que a dependência entre exposição (variável climatérica) e variável resposta (mortalidade) é desfasada no tempo -. Este processo pode ser descrito de duas formas: Usando uma perspetiva futura, podemos inferir que uma exposição no tempo  $t$  determina o risco no futuro em  $t+k$ ; usando uma perspetiva de passado, o risco no dia  $t$  é determinado pela série de exposições ocorridas no passado no tempo  $t-k$ . De notar que  $k$  é o *lag* que expressa o desfasamento entre a exposição e a variável resposta.

O modelo genérico para descrever a série temporal da variável resposta ( $Y_t$ ) com  $t$  a variar entre 1 e  $n$  é dado pela equação 2.2.

$$g(\mu_t) = \alpha + \sum_{j=1}^J s_j(x_{tj}; \beta_j) + \sum_{k=1}^K \gamma_k u_{tk} \quad (2.2)$$

onde  $\mu \equiv E(Y_t)$ ,  $g$  é uma função de ligação monótona e  $Y$  é assumido como proveniente de uma distribuição pertencente a família exponencial. A função  $s_j$  representa as relações suavizadas entre as variáveis  $x_j$  e o preditor, definidas pelo vector de parâmetros  $\beta_j$ . As variáveis  $u_k$  incluem outros preditores com efeitos especificados pelos coeficientes  $\gamma_k$ .

Tendo em conta que no presente estudo se pretende modelar o número de óbitos, a variável resposta,  $Y_t$ , corresponde então a um processo de contagens. Deste modo, assumir-se-á o modelo de Poisson com sobre dispersão para descrever o fenómeno em causa, onde  $E(Y_t) \equiv \mu$ ,  $V(Y_t) = \phi\mu$  onde  $\phi$  representa o parâmetro de dispersão

( $\phi > 1$ ). No presente trabalho utilizar-se-á a função de ligação (canónica) logarítmica para descrever a relação entre o valor médios e os preditores.

Usualmente utiliza-se uma função suavizadora do tempo para introduzir o efeito das variáveis de confundimento que variam ligeiramente ao longo do tempo, expressos como sazonalidade ou tendência de longo prazo. As variáveis categóricas tais como o dia da semana ou o mês também podem ser usadas na modelação.

Este trabalho focar-se-á numa função geral  $s$  para especificar os efeitos potencialmente não lineares e desfasados do preditor  $x$ , que se refere às variáveis climatológicas e à taxa de incidência de síndrome gripal. A estrutura de modelação entre estes preditores e a variável resposta baseia-se na definição de uma base cruzada, um espaço bidimensional de funções que especificam a dependência ao longo da variável climática e do desfasamento. As bases cruzadas são construídas através do *package DLNM* do programa R, combinando as funções de base para as duas dimensões, produzidas pela aplicação de funções existentes ou definidas pelo utilizador, tais como *natural splines(ns)*, polinómios (*poly*), e limiares lineares (*lin*) ou indicativos (*thr*). Após a modelação, as estimativas podem ser extraídas para obter previsões e representações gráficas que facilitam a interpretação dos resultados.

Para aplicação destes modelos é necessário conhecer algumas das funções específicas, nomeadamente a que cria a matriz cruzada da exposição (*crossbasis*), a que cria a matriz com as estimativas dos efeitos (*crosspred*), e a que reduz esta a uma única dimensão (*crossreduce*). Descriminando:

- ***Crossbasis***

Para a construção das matrizes cruzadas da exposição é necessária a função *Crossbasis* que gera as matrizes de base para as duas dimensões, o preditor e o *lag*, selecionadas a partir de um conjunto de possíveis funções de base. Estas funções são depois combinadas por forma a criar a matriz cruzada que é depois incluída na fórmula do modelo para ajustar o DLNM. É aplicada de acordo com o código seguinte

$$\text{crossbasis}(x, \text{lag} = c(0, 0), \text{argvar} = \text{list}(), \text{arglag} = \text{list}(), \text{group} = \text{NULL}, \dots) \quad (2.3)$$

onde

$x$  - variável preditora, definida como vetor numérico representando a série com-

pleta de observações ordenadas.

*lag* - escalar inteiro ou vetor de dimensão 2, definindo o *lag* máximo ou o seu intervalo, respetivamente. Se for escalar, o mínimo é automaticamente fixado em 0.

*argvar* e *arglag*- lista de argumentos a ser passados para gerar as matrizes base do preditor e do *lag* respetivamente. Ambas devem conter o argumento *fun* que define a função escolhida, opcionalmente o argumento *cen* em *argvar*, e um conjunto de argumentos adicionais da função (graus de liberdade, grau, nós,...). A lista *argvar* é aplicada a *x*, por forma a gerar a matriz de base do preditor e a lista do *arglag* é aplicada a um novo vetor dado pela sequência obtida pelo *lag*, de forma a gerar a matriz de base do *lag*.

*group* - fator que define os grupos de observações, representando várias séries. Cada série deve ser consecutiva, completa e ordenada.

```
ns.temp = crossbasis ( temperatura, 30,  
                      argvar = list( fun = "lin", cen = quantile(temperatura,0.5)),  
                      arglag = list( fun="ns", df=4,  
                                     knots = logknots(30,fun = "ns", df = 3)),  
                      group = dados$epoca)
```

O código apresentado mostra um exemplo de aplicação, com a criação de uma *crossbasis* para uma variável temperatura definindo 30 dias de lag máximo. Essa variável temperatura é assumida como linear, sendo centrada no percentil 50 da sua série de dados que é considerado aqui como valor de referência para o cálculo dos Riscos Relativos (RR - Risco de um evento ocorrer - óbito- relativo à exposição ao fator de risco -temperatura-). O seu desfasamento é considerado como um *natural spline* (*ns*) com 4 graus de liberdade. Os dados são agrupados de acordo com a série a que dizem respeito, no caso são agrupados por época.

- ***Crosspred***

Para gerar as predições de um *DLNM* é necessário o uso da função *crosspred*. Esta função dá as predições que podem ser interpretadas como as associações estimadas numa rede de valores do preditor original e do *lag*, calculadas *versus* o valor de referência do preditor. O código é o seguinte:

```
crosspred(basis, model = NULL, coef = NULL, vcov = NULL,  
model.link = NULL, at = NULL, from = NULL, to = NULL,  
by = NULL, lag, bylag = 1, ci.level = 0.95, cumul = FALSE)      (2.4)
```

onde

*basis* - matriz criada através da função *crossbasis*.

*model* - modelo que usou a *crossbasis* como variável explicativa e para o qual se pretende fazer predição.

*coef*, *vcov* e *model.link* - coeficientes fornecidos pelo utilizador, matriz de covariâncias e "link" do modelo para a previsão. Para modelos da classe *glm* o "link" do modelo é assumido automaticamente.

*at* - vetor numérico que representa os valores de uma exposição constante ao longo do período do *lag*, ou uma matriz do histórico da exposição durante o mesmo período de *lag* utilizados para a estimação.

*from*, *to* - intervalo de valores do preditor usados para a predição.

*lag* - escalar inteiro ou vetor de comprimento 2, que define o intervalo de atraso utilizado para predição. Por defeito utiliza os valores usados para a estimação.

*by* e *bylag* - incremento das sequencias dos valores do preditor e do *lag* usados para a predição.

*ci.level* - nível de confiança para cálculo dos intervalos de confiança.

*cumul* - Se TRUE, também serão estimadas as associações cumulativas ao longo do *lag*.

Como exemplo, para estimar a associação de temperaturas específicas com a mortalidade, obtidas pelo modelo encontrado, os resultados são sumarizados através da função *crosspred* dando-lhe indicação do objeto *crossbasis* que se pretende estudar, do modelo usado, do intervalo de valores de variável temperatura para os quais se pretende estimar associações (por defeito considera o intervalo de valores da variável), e do salto do lag (de quantos em quantos dias queremos).

```
pred.temp = crosspred(ns.temp, model, at=4:26, bylag=1)
```

O objeto criado é uma lista com diversos atributos entre os quais os Riscos Relativos (tendo como referência os valores considerados na criação da *crossbasis*), de cada uma das temperaturas incluídas no intervalo e para todos os valores de

lag.

- **Crossreduce**

Esta função reduz o ajuste de um *DLNM* bi-dimensional a um resumo definido somente na dimensão do preditor ou do *lag*, e re-expressa-o em termos de parâmetros modificados das funções uni-dimensionais de base selecionadas para esse espaço. O respetivo código é o seguinte:

```
crossreduce(basis, model = NULL, type = "overall", value = NULL,  
            coef = NULL, vcov = NULL, model.link = NULL, at = NULL,  
            from = NULL, to = NULL, by = NULL, lag, bylag = 1, ci.level = 0.95) (2.5)
```

onde,

*basis* - matriz criada através da função *crossbasis*.

*model* - modelo que usou a *crossbasis* como variável explicativa e para o qual se pretende fazer predição.

*coef*, *vcov* e *model.link* - coeficientes fornecidos pelo utilizador, matriz de covariância e link do modelo para a previsão. Para modelos da classe *glm* o link do modelo é assumido automaticamente.

*type* - tipo de redução pretendida. As opções são *overall* (usada por defeito) para reduzir à associação global cumulativa, *lag* para reduzir a uma associação com um lag específico, e *var* para reduzir a uma associação específica do preditor.

*value* - valor do preditor ou do lag para o qual as associações específicas do preditor ou do lag, respetivamente, necessitam ser definidas.

*at* - vetor de valores usados para a predição na dimensão do preditor.

*from*, *to* - intervalo de valores do preditor usados para a predição.

*lag* - escalar inteiro ou vetor de comprimento 2, que define o intervalo de atraso utilizado para predição. Por defeito utiliza os valores usados para a estimação.

*by* e *bylag* - incremento das sequências dos valores do preditor e do *lag* usados para a predição.

*ci.level* - nível de confiança para cálculo dos intervalos de confiança.

Como exemplo, para reduzir a informação obtida a uma única dimensão, neste caso para a associação global com uma determinada temperatura, usa-se a função

*crosspred* tendo como argumentos o objeto *crossbasis* que se pretende estudar, o modelo usado, informação de que se quer avaliar a associação de uma temperatura específica através de `type="var"`, o valor da temperatura para a qual pretendemos a associação `value=4`, e o do salto do lag (de quantos em quantos dias queremos).  
`red.temp = crossreduce(ns.temp, model, type="var", value=4, bylag=1)`

O objeto criado é uma lista com diversos atributos entre os quais os Riscos Relativos (tendo como referência os valores considerados na criação da *crossbasis*), da temperatura indicada (4) em todos os valores de *lag*.

### 2.2.3.2 Modelo para descrever a relação entre a mortalidade e as variáveis biometeorológicas

A característica peculiar da análise do efeito da temperatura na mortalidade com *DLNM* apenas para as épocas de inverno, é o facto de os dados serem assumidos como sendo compostos por múltiplas séries igualmente espaçadas e ordenadas do mesmo período para cada época, e não representando uma única série contínua. Aqui pretende-se avaliar o efeito do frio até um desfasamento (*lag*) de 30 dias.

A análise será baseada num modelo ajustado através de modelos lineares generalizados com família *quasi Poisson* para a mortalidade diária, especificado por

$$\begin{aligned} \ln[E(Y_t)] = & \alpha + \sum_{k=1}^K \beta_{k,t} \text{temp}(l)_{k,t} + \gamma \text{gripe}(l)_t + \\ & \delta \text{ns}(t, 4) + \varepsilon \text{ns}(\text{doy}_t, 6) + \zeta \text{dow}_t + \log(\text{pop}_t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

em que:

$Y_t$  corresponde a mortalidade observada no dia  $t$  ( $t = 1, 2, 3 \dots 1830$ );

$\alpha$  é a ordenada na origem;

$\text{temp}_{k,t,l}$  corresponde à matriz cruzada, relativa à  $k$ -ésima variável meteorológica considerada, criada para modelar a sua relação linear ou não linear e os seus efeitos desfasados desde o dia corrente ( $\text{lag} = 0$ ) até ao  $\text{lag}$  correspondente a  $l$  dias;

$\text{gripe}$  corresponde à matriz cruzada criada para modelar a relação linear ou não linear e os efeitos desfasados da taxa de incidência de síndrome gripal desde o dia corrente

( $lag = 0$ ) até ao  $lag$  correspondente a  $l$  dias;

$ns(.)$  corresponde a um *natural cubic spline* que é aplicado com 4 graus de liberdade ( $df$ ) ao dia da observação ( $t$ ) para controlar a tendência, e com 6 graus de liberdade ( $df$ ), um por cada mês, aplicado ao dia do ano ( $doy$ ) para descrever a sazonalidade em cada época;

$dow$  é uma variável categórica correspondente ao dia da semana tendo como referência a segunda feira;

$pop$  é a população média anual residente que entra como *offset*.

O  $lag$  máximo será estabelecido em 30 dias quer para as variáveis meteorológicas quer para a taxa de incidência de síndrome gripal para acautelar possíveis atrasos mais longos. Não existem critérios para a definição do  $lag$  [50], mas o mais comumente encontrado na literatura para associações entre temperatura e mortalidade é o  $lag$  de 30 dias [47, 50, 51].

Como valores de referência para o cálculo dos Riscos Relativos (RR - Risco de um evento ocorrer -óbito- relativo à exposição ao fator de risco -frio extremo-) será usado o valor da mediana, para variáveis relacionadas com a temperatura (temperatura e temperatura *windchill*) e zero para a intensidade do vento. Para a humidade serão usados limiares, considerando-se que os seus efeitos são nulos quando esta se encontra entre os 40% e os 60%, pois esta é a gama considerada como ideal [52]. Para a temperatura serão ainda testados como valores de referência limiares considerando efeitos nulos quando a temperatura se encontrar entre o percentil 40 e o percentil 60.

Serão construídas matrizes cruzadas para as variáveis selecionadas, nomeadamente o vento e a humidade por ser conhecido que influenciam bastante a perceção humana da temperatura. Para a taxa de incidência de síndrome gripal também será criada uma matriz cruzada uma vez que também são conhecidos os atrasos nos seus impactos.

Serão propostos quatro modelos, considerando o primeiro apenas a temperatura como variável climatológica, o segundo a temperatura e a intensidade do vento, o terceiro a temperatura e a humidade relativa e o quarto a temperatura *windchill*.

Assim, para cada uma das variáveis a estudar (temperatura, intensidade do vento, humidade relativa, temperatura *windchill* e taxa de incidência de síndrome gripal) serão testadas diversas funções na construção das bases cruzadas. Uma lista das funções a testar, para cada uma das variáveis, é apresentado na tabela 2.3. A temperatura e a temperatura *windchill* serão centrados no seu percentil 50 ( $Q_2$ ), o vento será centrado

em 0 m/s e a humidade terá um *threshold* com efeitos nulos entre 40 e 60 %. A taxa de incidência de SG será centrada em 50/100000 habitantes uma vez que abaixo deste valor se considera que se encontra em zona de atividade basal.

A seleção do melhor modelo para cada uma das combinações será efetuada com base nos critérios de Akaike modificado e de informação Bayesiana para modelos com sobre-dispersão ajustados através de quasi-verosimilhança [47]. Seguindo o princípio da parcimónia, caso a aplicação de ambos os critérios não leve ao mesmo modelo, será selecionado o aquele que incluir um menor número de parâmetros [47].

## 2.2.4 Comparação e avaliação dos modelos

Para comparação e avaliação dos modelos encontrados para cada uma das variáveis resposta (mortalidade por Grandes Causas e por Doenças dos aparelhos circulatório e respiratório) serão usadas diversas medidas estatísticas, nomeadamente:

- **Critério de Informação Akaike relativo à quasi-verosimilhança - QAIC**

Sob a denominação *an information criterion* o AIC foi desenvolvido em 1971 e proposto em 1974 por Hirotugu Akaike.

Este critério estabelece um método para combinação da verosimilhança com o número de parâmetros produzindo índices de modo a que os modelos estatísticos possam ser comparados. O *AIC* admite a existência de um modelo “real” que descreve os dados e que é desconhecido, e tenta selecionar de entre o grupo de modelos avaliados, o que minimiza a discrepância entre o modelo “verdadeiro” e o modelo proposto, pelo que valores menores revelam os melhores modelos, desde que o ajustamento continue adequado. No caso será usado o critério de informação de Akaike modificado, para modelos com respostas sobre dispersas ajustados através de quasi-verosimilhança, descrito pela equação seguinte.

$$QAIC = -2\mathcal{L}(\hat{\theta}) + 2\hat{\phi}k \quad (2.7)$$

onde  $\mathcal{L}$  é o logaritmo da função de verosimilhança associada ao modelo ajustado com parâmetros  $\hat{\theta}$ ,  $\hat{\phi}$  o parâmetro de estimação da sobre-dispersão e  $k$  o número de parâmetros.

O modelo com menor QAIC é considerado o de melhor ajuste.

Tabela 2.3: Lista das funções testadas para cada um dos modelos pretendidos

Modelo:	1	2	3	4
Tmédia	argvar	lin (cen= $Q_2$ ) thr ( $D_4, D_6$ ) poly (2) (cen= $Q_2$ ) ns(2:5) (cen= $Q_2$ )		—
	arglag	<i>integer</i> <i>lin</i> ns(3:6) poly(2:4)		—
Vento	argvar	—	lin (cen=0) <i>integer</i> <i>lin</i> ns(3:6) poly(2:4)	—
	arglag	—	—	—
Humidade	argvar	—	—	thr (40,60)
	arglag	—	—	<i>integer</i> <i>lin</i>
WindChill	argvar	—	—	lin (cen= $Q_2$ ) poly (2) (cen= $Q_2$ ) ns(2:5) (cen= $Q_2$ ) <i>integer</i> <i>lin</i> ns(3:6) poly(2:4)
	arglag	—	—	—
Gripe	argvar	lin (cen=50) thr (50) (side=h) ns(2:5) cen=50		
	arglag	<i>integer</i> <i>lin</i> ns(3:6) poly(2:4)		
Modelos testados:	3402	30618	6804	2916

Notas: lin: linear; cen: centrado em;  $Q_2$ : Percentil 50;  $D_4$ : Percentil 40;  $D_6$ : Percentil 60; poly: polinómio; ns: *natural spline*; integer: cria estratos para cada um dos valores inteiros da variável.

- **Critério de Informação Bayesiano relativo à quasi-verosimilhança - *QBIC***

O *BIC* tem como pressuposto a existência de um modelo "verdadeiro" que descreve a relação entre a variável dependente e as diversas variáveis explicativas entre os diversos modelos avaliados. É definido como a estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o verdadeiro modelo de entre os modelos avaliados.

Será usado o critério de informação Bayesiano para modelos com respostas sobre dispersas ajustados através de quasi-verosimilhança, descrito pela equação seguinte:

$$QBIC = -2\mathcal{L}(\hat{\theta}) + \log(n)\hat{\phi}k \quad (2.8)$$

onde  $\mathcal{L}$  é o logaritmo da função de verosimilhança associada ao modelo ajustado com parâmetros  $\hat{\theta}$ ,  $\hat{\phi}$  é o parâmetro de estimação da sobre-dispersão,  $k$  o número de parâmetros e  $n$  o número de observações.

O modelo com menor QBIC é considerado o de melhor ajuste.

- **Raiz quadrada do erro quadrático médio (*RMSE - root-mean-square error*)**

É uma medida muito utilizada para avaliar as diferenças entre os valores previstos ou estimados por um modelo e os valores efetivamente observados. O *RMSE* representa os desvios amostrais das diferenças entre os valores previstos e observados. Estas diferenças individuais são chamadas resíduos quando os cálculos são realizados sobre a base de dados que foi utilizada para a estimativa, e são chamadas erros de previsão quando calculadas para dados diferentes dos presentes na base de dados modelada. É uma boa medida de precisão, mas apenas para comparar os erros de previsão de diferentes modelos para uma determinada variável dependente e não entre variáveis, pois é dependente de escala. É muito usada em meteorologia para verificar o quão eficazmente um modelo matemático prevê o comportamento da atmosfera. É uma regra de escalonamento quadrática que mede a magnitude média do erro. A sua equação é dada pela raiz quadrada da média das diferença entre a estimativa e os correspondentes valores observados ao quadrado, conforme equação seguinte:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad (2.9)$$

Como se pode verificar pela equação 2.9 os resíduos são elevados ao quadrado antes de ser calculada a média. O *RMSE* dá um maior peso às discrepâncias mais acentuadas. Isso significa que o *RMSE* é muito útil quando erros grandes são particularmente indesejáveis.

- **Erro absoluto médio (*MAE* - *Mean Absolute Error*)**

O *MAE* mede a magnitude média de erros num conjunto de previsões, sem considerar a sua direção. Mede a precisão para variáveis contínuas. A equação que permite a sua determinação é apresentada em seguida e expressa em palavras, é a média da amostra de verificação dos valores absolutos das diferenças entre a estimativa e a observação correspondente.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{Y}_i - Y_i| \quad (2.10)$$

O *MAE* é medido numa escala linear, o que significa que todas as diferenças individuais são ponderados igualmente na média.

Dois dos critérios apresentados, o *AIC* e o *BIC*, apesar de conceitualmente diferentes acerca dos modelos em avaliação, utilizam o mesmo critério estatístico, o máximo da função de verossimilhança como medida do ajustamento, no entanto definem valores críticos diferentes. Esta é a diferença fundamental entre os dois métodos. Utilizando-se o *AIC* admite-se que dentre os modelos avaliados nenhum é considerado o que realmente descreve a relação entre a variável dependente e as variáveis explanatórias, ou o “modelo verdadeiro” e então, tenta-se escolher o modelo que minimize a divergência. Com o *BIC*, está implícito que existe o modelo que descreve a relação entre as variáveis envolvidas e o critério tenta maximizar a probabilidade de escolha do verdadeiro modelo.

Os outros dois critérios, o *MAE* e o *RMSE* podem ser usados juntos para diagnosticar a variação nos erros num conjunto de previsões. O *RMSE* será sempre maior ou igual ao *MAE* e quanto maior a diferença entre eles maior a variação nos erros individuais da previsão. Se o *RMSE* for igual ao *MAE* todos os erros tem a mesma magnitude.

Ambos variam entre 0 e  $\infty$  e são escores orientados negativamente, ou seja, os valores mais baixos são melhores [53].

Não obstante estes critérios, será ainda considerado o **princípio da parcimónia** que preconiza que modelos mais simples devem ser escolhidos em detrimento de mais complexos, desde que a qualidade do ajuste seja similar. Segundo este princípio, de entre um conjunto de modelos que se ajustam adequadamente a um conjunto de observações, o modelo a ser selecionado deve ser o que tiver menor número de parâmetros.

Toda a análise é efetuada com recurso ao software R (The Comprehensive R Archive Network: <https://cran.r-project.org/>) [48].

Modelação do efeito do frio extremo na saúde da população de Lisboa: contributos para um sistema de vigilância e alerta

---

## 3. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados da análise descritiva dos dados (secção 3.1), uma análise das correlações cruzadas (secção 3.2) e a estimação dos modelos (secção 3.3). Os sumários dos modelos são apresentados no anexo da página 97. Por último é apresentada a comparação entre os modelos ajustados aos dados (secção 3.4).

### 3.1 Análise Descritiva

A mortalidade ao longo do tempo apresenta alguma sazonalidade sendo superior nos períodos de inverno relativamente ao verão. A sua representação gráfica assemelha-se a uma curva sinusoidal conforme é visível nos gráficos das figuras 3.4 e 3.5 que contêm as séries temporais da mortalidade desde 2002 até 2012 por Todas as Causas e por Doenças dos Aparelhos Circulatório e Respiratório, respectivamente.

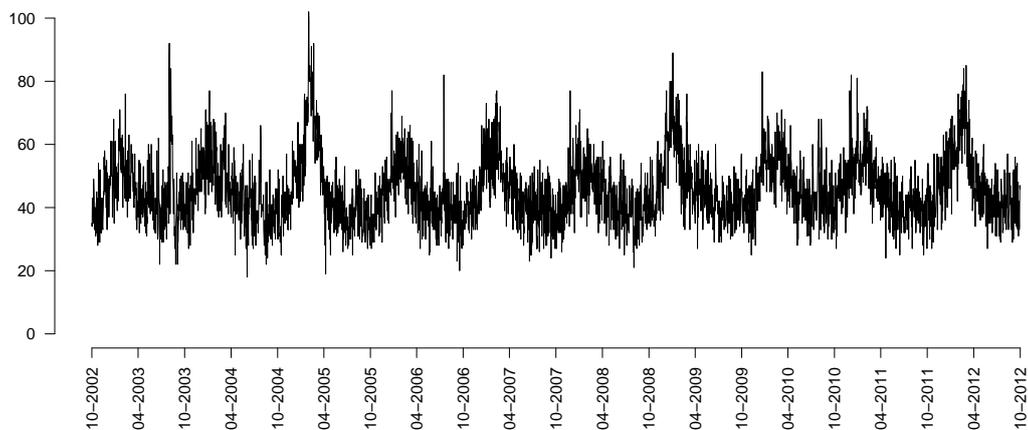


Figura 3.4: Mortalidade por todas as causas de 2002 a 2012.

O comportamento da temperatura apresenta também sazonalidade, assumindo a

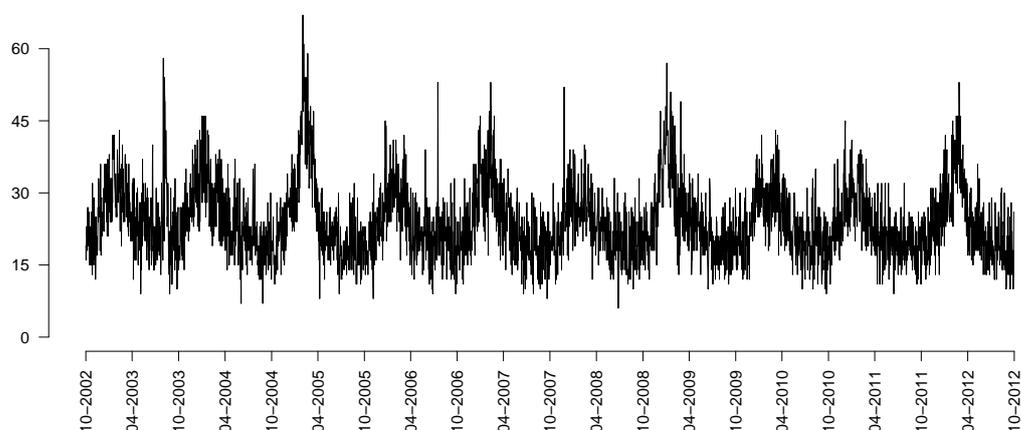


Figura 3.5: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de 2002 a 2012.

mesma forma sinusoidal mas com picos invertidos, ou seja, sendo superior nos períodos de verão relativamente ao inverno. Pode verificar-se essa forma nos gráficos apresentados nas figuras 3.6 a 3.9.

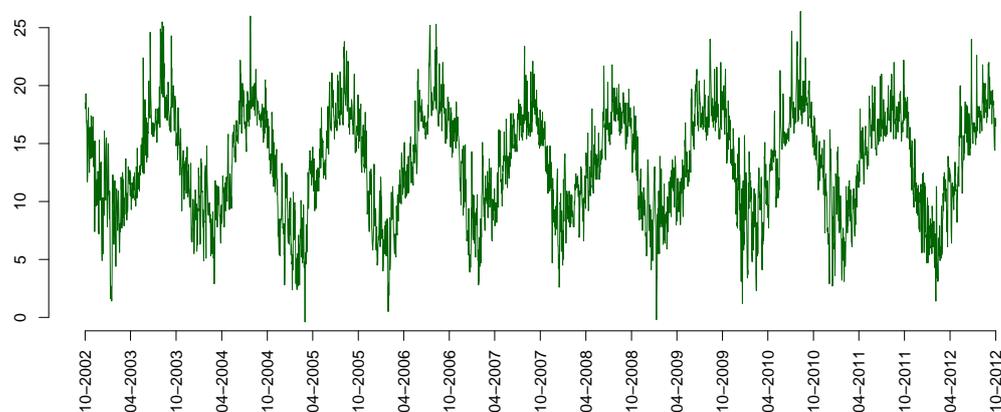


Figura 3.6: Série temporal da temperatura mínima de 2002 a 2012.

A intensidade do vento parece não ter grande sazonalidade (figura 3.10), contrariamente à humidade e à taxa de incidência de Síndrome Gripal (figuras 3.11 e 3.12) que são mais elevadas nos períodos de inverno como seria de esperar.

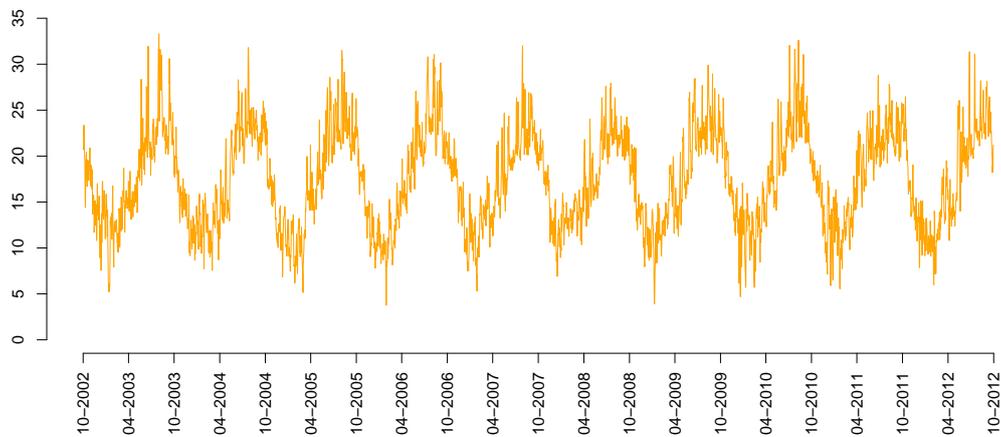


Figura 3.7: Série temporal da temperatura média de 2002 a 2012.

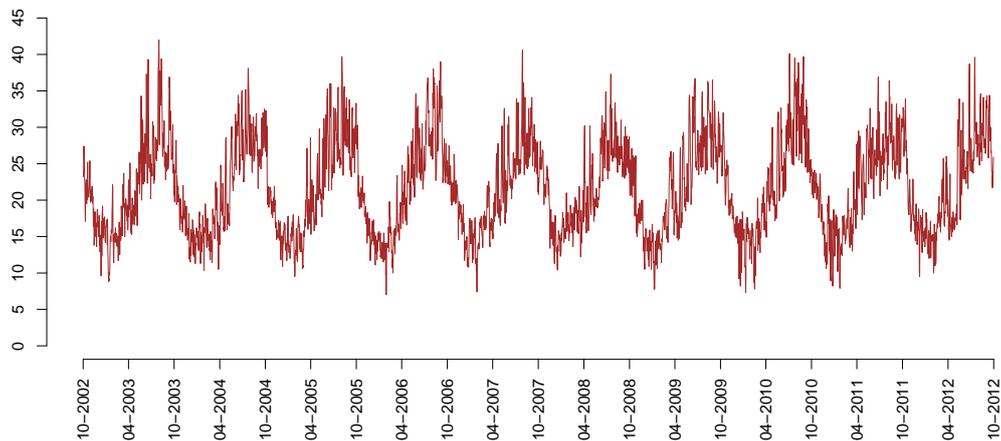


Figura 3.8: Série temporal da temperatura máxima de 2002 a 2012.

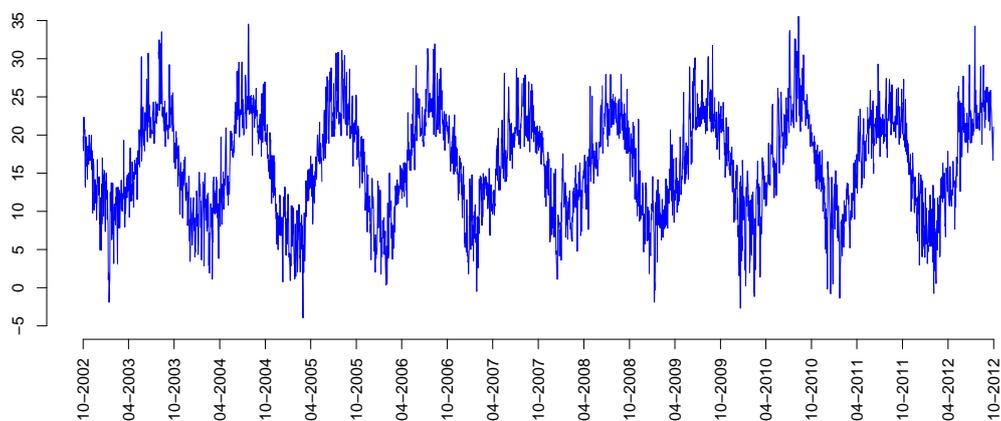


Figura 3.9: Série temporal da temperatura *windchill* de 2002 a 2012.

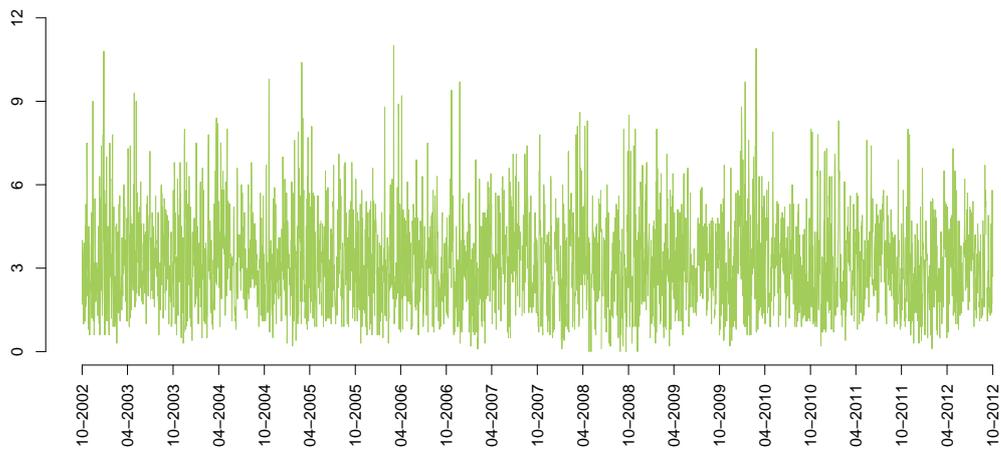


Figura 3.10: Série temporal da intensidade do vento de 2002 a 2012.

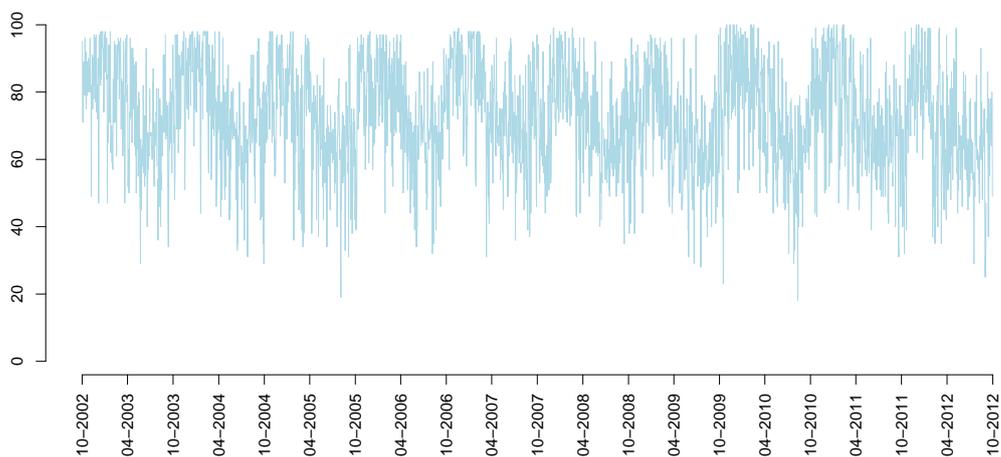


Figura 3.11: Série temporal da humidade de 2002 a 2012.

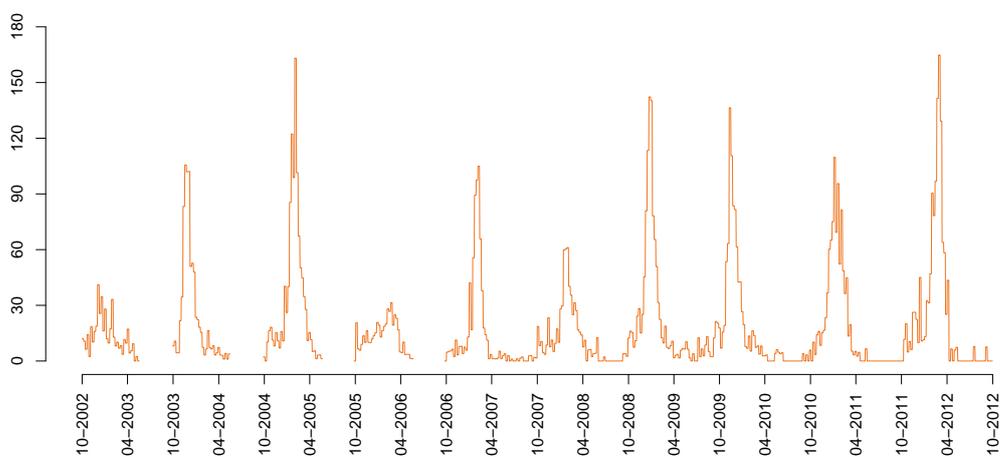


Figura 3.12: Série temporal da taxa de incidência de Síndrome Gripal (/100000 habitantes) de 2002 a 2012.

Existindo esta sazonalidade e por forma a estudar apenas o efeito do frio - objetivo deste trabalho - restringiu-se o período de estudo ao período de inverno. Foi selecionado para cada ano/época o período compreendido entre 1 de outubro e 31 março.

### 3.1.1 Análise univariada

Cada variável em estudo, descrita na secção 2.1.1, foi estudada isoladamente e de forma descritiva (frequências, medianas, médias, etc.). O resultado dessa análise, para o período de inverno, é apresentado na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Medidas descritivas das variáveis para o período de inverno.

No. of observations = 1830

	Var. name	obs.	mean	median	s.d.	min.	max.
1	TC	1830	49.98	49	10.94	25	102
2	C&R	1830	27.34	26	7.91	8	67
3	tmin	1830	10.28	10.2	3.59	-0.4	21.4
4	tmax	1830	17.26	16.6	4.08	7	33.9
5	t_9	1830	12.3	12.3	3.93	0.8	25.6
6	f_9	1830	79.08	81	14.36	23	100
7	v10m_9	1830	3.14	2.9	1.81	0	11
8	tmedia	1830	13.77	13.35	3.63	3.75	26.45
9	wc_9	1830	11.44	11.57	4.82	-3.96	27.29
10	pop	1830	390906.6	387405.5	25960.63	350969.5	439349.5
11	taxa incidência SG	1830	17.11	0	37.21	0	164.8

A base de dados compreende 1830 dias correspondentes a 10 épocas (períodos compreendidos entre outubro e março). O dia que registou a temperatura média mais baixa foi o dia 2006-01-29 com 3.75°C, enquanto que o dia 2011-10-13 registou 26.45°C de temperatura média correspondendo à mais elevada de todas as épocas.

A intensidade máxima do vento registada foi de 11 *m/s* no dia 2006-03-04 (39.6 *km/h*).

Do total dos 1830 dias da série apenas 202 apresentaram valores de humidade relativa entre os 40 e os 60 %, intervalo considerado como de conforto ou sem efeito.

A temperatura mínima *windchill* ocorreu no dia 2005-03-01 com um valor de -3.96°C.

Por outro lado a taxa de incidência de SG (Síndrome Gripal) máxima foi verificada na semana 09 de 2012 com um valor de 164.8/100000 habitantes.

### 3.1.2 Associação entre a Mortalidade e as variáveis meteorológicas

Os dados de mortalidade foram agrupados de acordo com as variáveis climatológicas, sendo a média a estatística sumária selecionada para apresentação dos resultados. Os gráficos com os resultados obtidos são apresentados nas figuras 3.13 e 3.14, que mostram a relação entre a mortalidade e as diversas variáveis meteorológicas e a taxa de incidência de Síndrome Gripal.

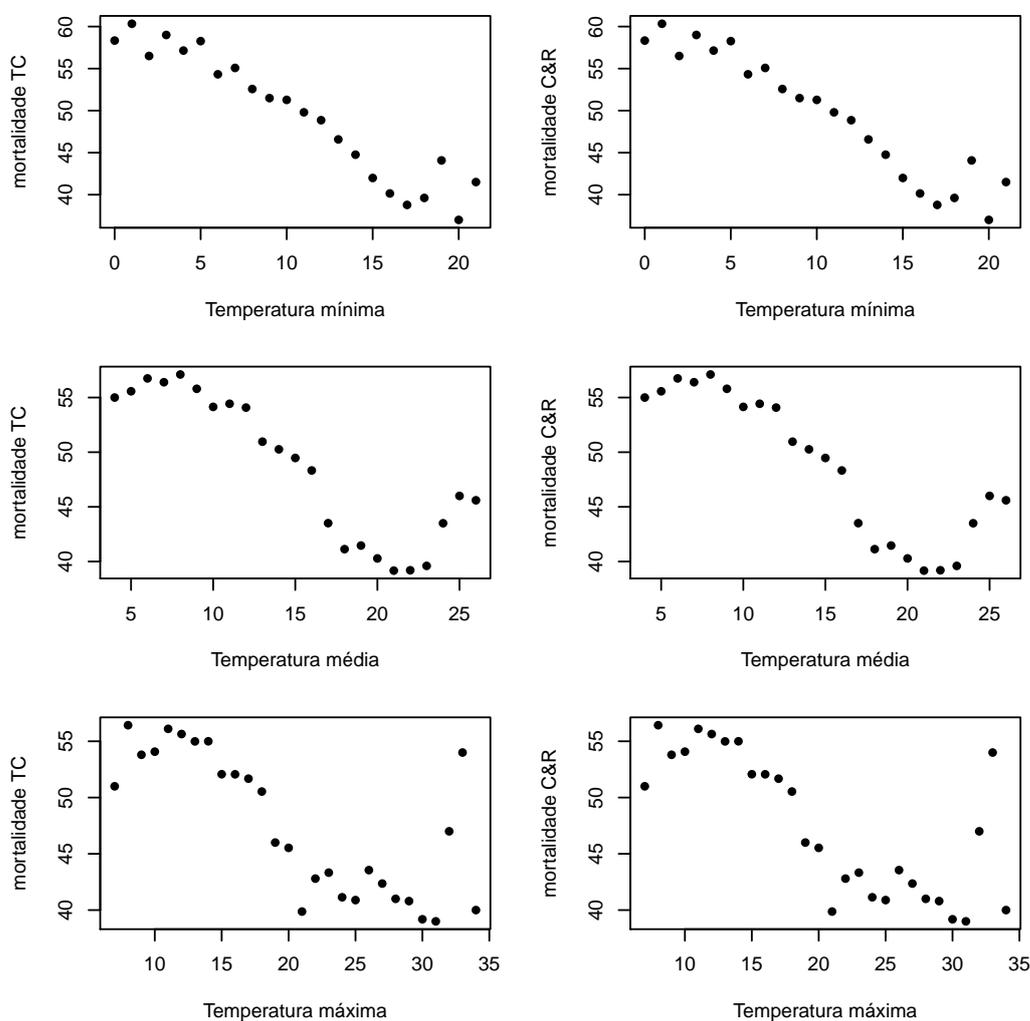


Figura 3.13: Mortalidade média diária agrupada de acordo com as temperaturas mínima, média e máxima na série de inverno.

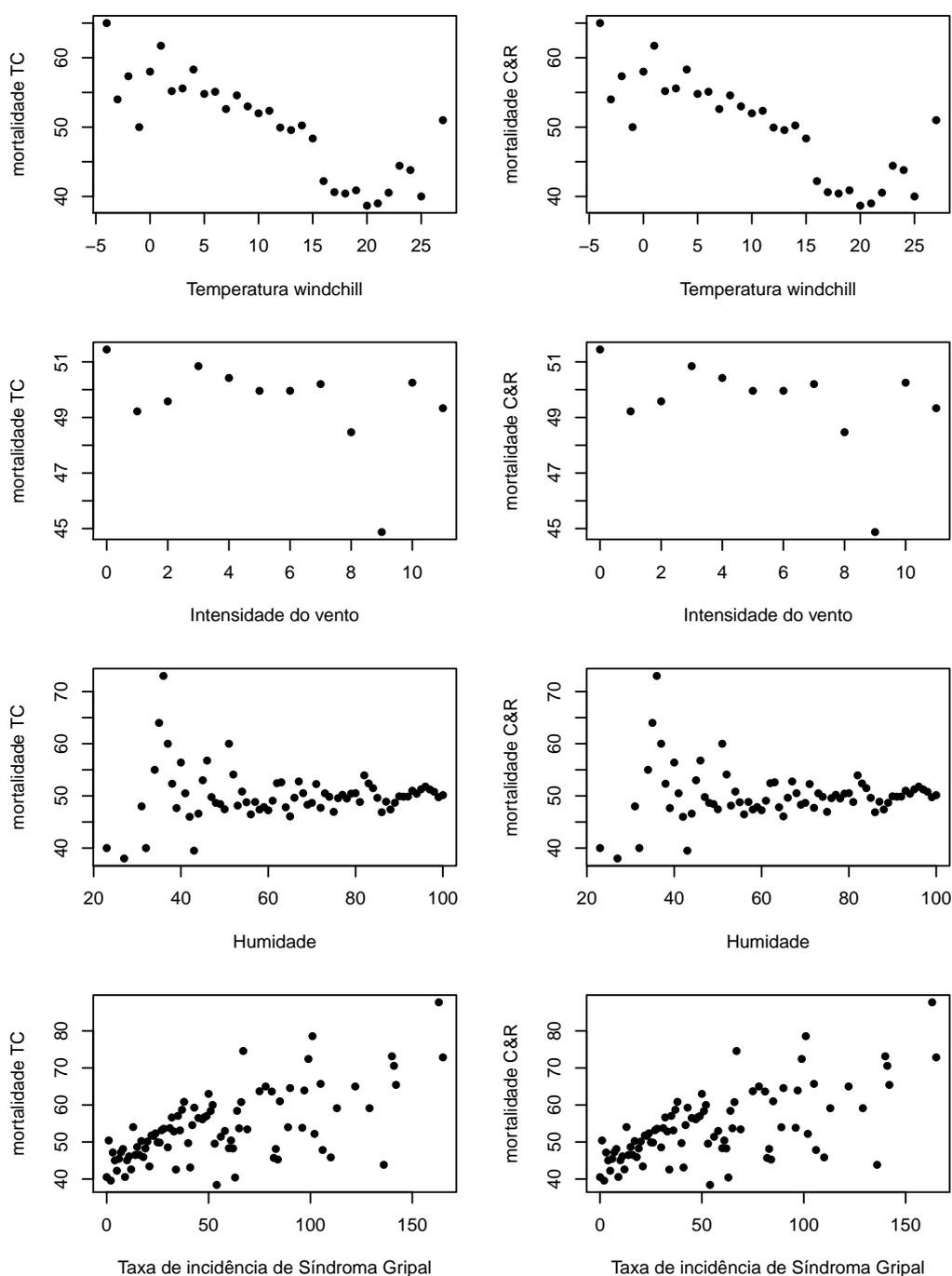


Figura 3.14: Mortalidade média diária agrupada de acordo com a temperatura *wind-chill*, intensidade do vento, humidade e taxa de incidência de Síndrome Gripal.

A relação encontrada entre as variáveis temperatura e a mortalidade mostra que, tal como descrito por diversos autores, esta relação se assemelha a um "V" ou um "U" na série anual. Na série de inverno é bem visível parte do "V" ou "U", faltando a subida associada às temperaturas mais elevadas. A relação da mortalidade com as variáveis

intensidade do vento e humidade não parece ter um padrão definido.

Foi analisada a variação na mortalidade entre os dias da semana, os meses e as épocas, para ambas as causas. Os respectivos "boxplot" são apresentados para as doenças por todas as causas na figura 3.15, e para doenças do aparelho Circulatório e eRspiratório na figura 3.16.

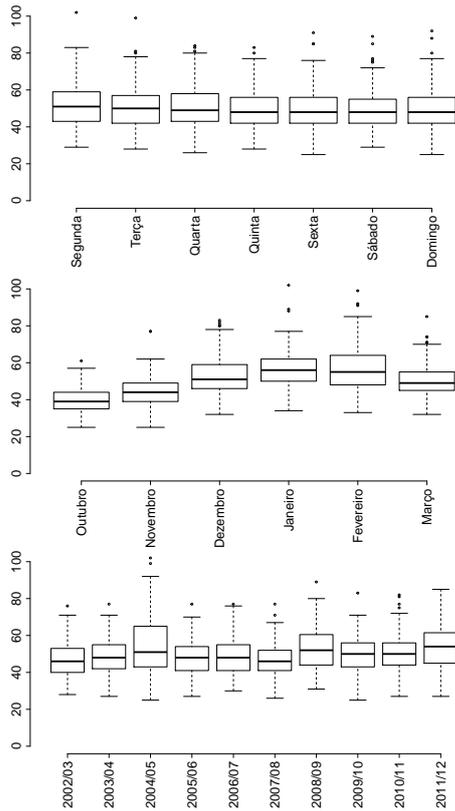


Figura 3.15: "Boxplot" da mortalidade por doenças por todas as causas por dia da semana, por mês e por época.

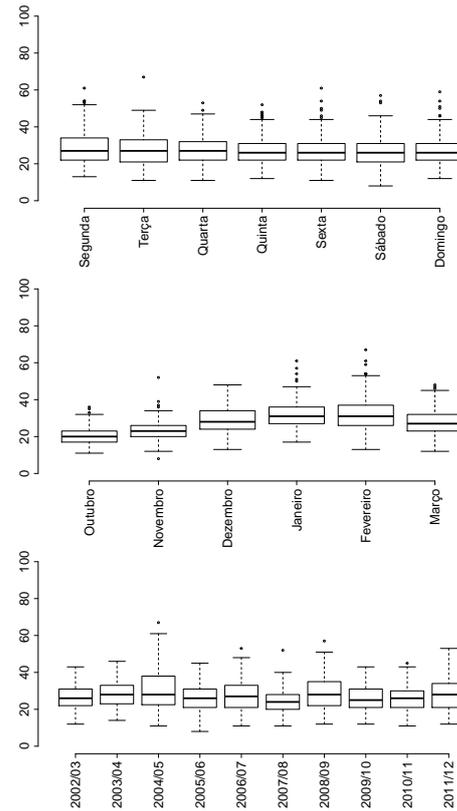


Figura 3.16: "Boxplot" da mortalidade por Doenças dos aparelhos Circulatório e Respiratório por dia da semana, por mês e por época.

Nos gráficos das figuras 3.15 e 3.16 verifica-se que a mortalidade não varia significativamente ao longo dos dias da semana e das épocas para nenhuma das causas. No entanto, o mesmo não se verifica ao longo dos meses, como era de esperar, dado o comportamento sazonal conhecido da mortalidade.

## 3.2 Correlações Cruzadas

Com o objetivo de encontrar as variáveis mais correlacionadas com a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, foram calculados os valores das correlações cruzadas entre estas variáveis de interesse e as variáveis climatológicas.

Na figura 3.17 são apresentados os gráficos correspondentes às correlações entre a mortalidade por todas as causas e as variáveis explicativas (variáveis climatológicas - temperaturas mínima, média, máxima e *windchill*, intensidade do vento e humidade - e taxa de incidência de Síndrome Gripal. As mesmas correlações mas agora para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, são apresentadas na figura 3.18. Na interpretação destes gráficos há que ter em conta que o *lag k* estima a correlação entre a mortalidade do dia  $t+k$  e a variável climatológica no dia  $t$ .

Analisando a figura 3.17 verifica-se que a correlação cruzada entre a mortalidade por todas as causas e as diversas variáveis que representam a temperatura é negativa, o que indica que à medida que a temperatura desce a mortalidade sobe. De entre as várias representações da temperaturas, a que apresenta uma maior correlação com a mortalidade por todas as causas é a temperatura média, sendo significativa entre o segundo e o décimo dia. De entre as diferentes variáveis que descrevem a temperatura, a temperatura média será a considerada para a modelação da mortalidade por todas as causas.

Por outro lado, a correlação cruzada entre a mortalidade e taxa de incidência de síndrome gripal é positiva, pelo que um aumento desta taxa leva a um aumento na mortalidade por todas as causas.

A correlação cruzada entre a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório e as temperaturas é negativa o que indica que à medida que a temperatura desce a mortalidade por estas causas sobe. De entre as temperaturas, a mínima e a média apresentam aproximadamente o mesmo padrão pelo que para ser concordante com a análise da mortalidade por todas as causas, será usada a temperatura média para a modelação. É significativa esta correlação entre o segundo e o nono dia.

A correlação cruzada entre a mortalidade e taxa de incidência de síndrome gripal é positiva, pelo que um aumento desta taxa leva a um aumento na mortalidade por todas as causas.

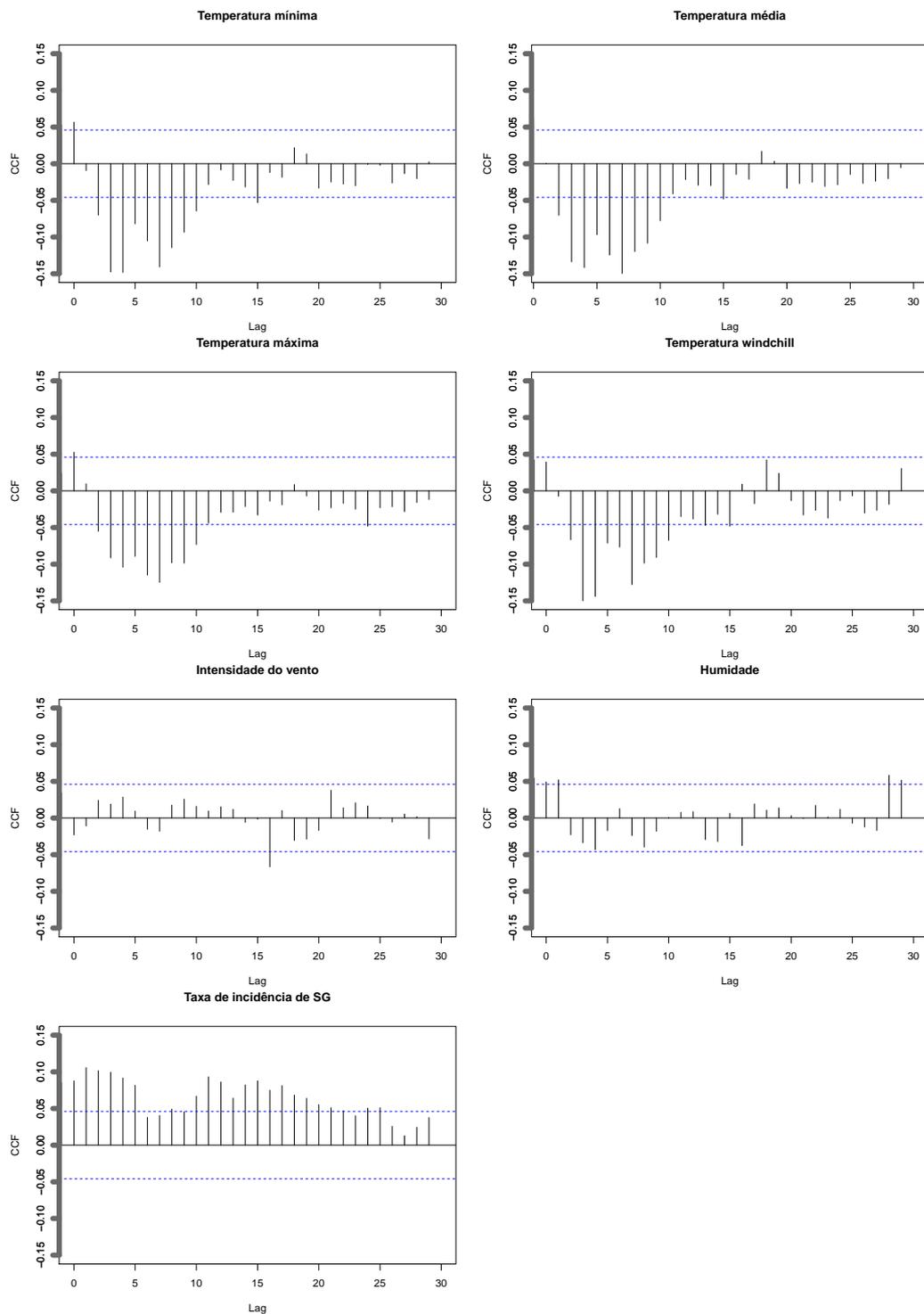


Figura 3.17: Gráfico das correlações cruzadas com a mortalidade por todas as causas.

Para ambas as mortalidades, as correlações cruzadas com a intensidade do vento e a humidade são fracas. Não há portanto uma estrutura de dependência direta entre a mortalidade e estas duas variáveis.

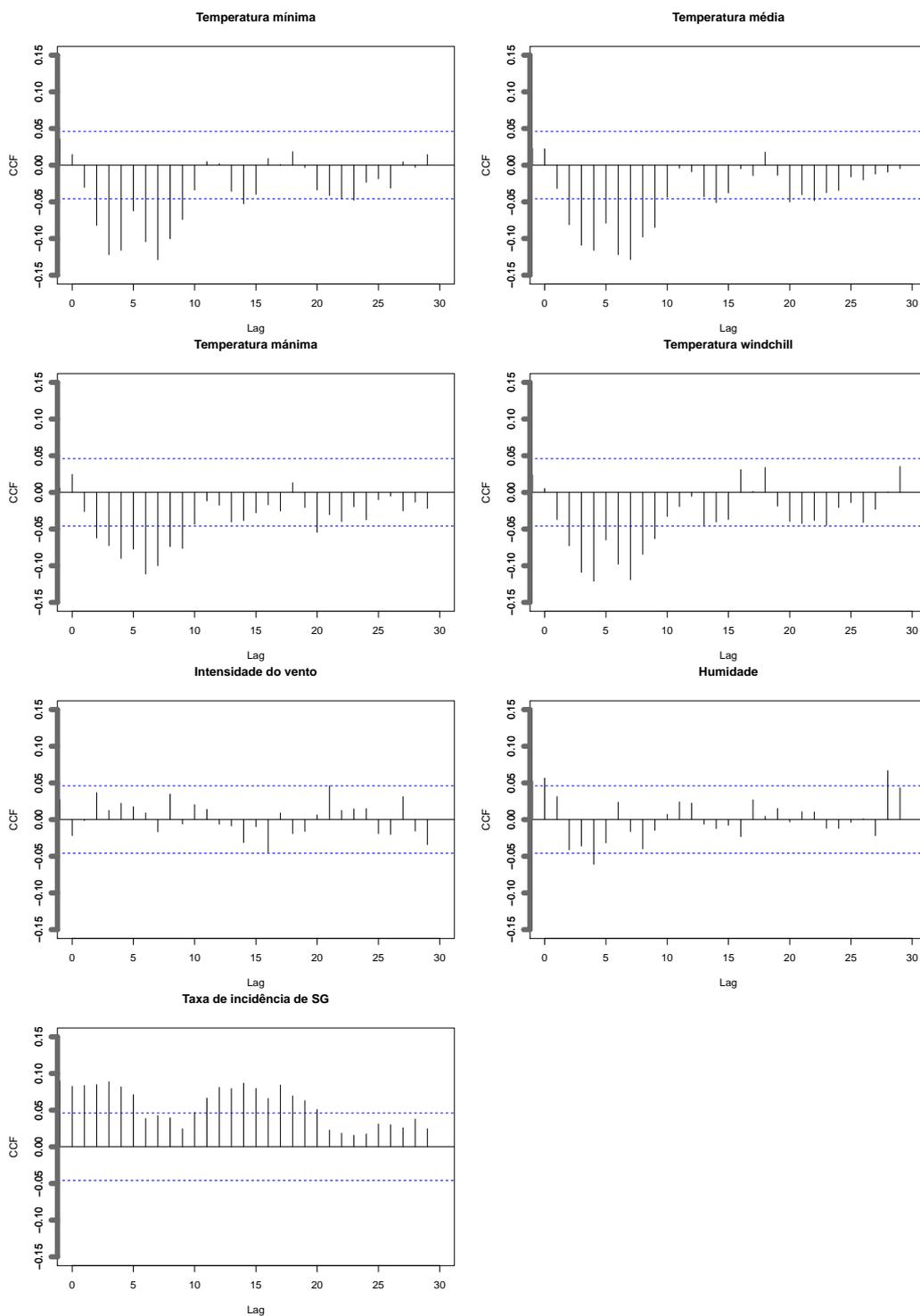


Figura 3.18: Gráfico das correlações cruzadas com a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

### 3.3 Construção e seleção dos modelos

Já foi dito na metodologia que os modelos a estudar seriam baseados numa variável que descrevesse a temperatura, variável temperatura e intensidade do vento, variável temperatura e humidade, e *windchill*. Foi conclusão da secção 3.2 que a variável temperatura a considerar seria a temperatura média por esta apresentar uma maior correlação com a mortalidade. A taxa de incidência de síndrome gripal, doravante designada gripe para simplificação, entraria em todos. Assim, foram construídas matrizes cruzadas para cada uma das variáveis em estudo, sendo avaliada a lista de funções indicada na tabela 2.3 da secção 2.2.3.2. A seleção do melhor modelo dentro das varias conjugações testadas foi efetuada de acordo com a minimização do QAIC e do QBIC, seguindo-se o princípio da parcimónia quando os critérios indicam modelos diferentes.

#### 3.3.1 Temperatura média e Gripe

Foram testados, tendo como covariáveis a temperatura média e gripe um total de 3402 modelos, quer para a mortalidade por todas as causas (TC) quer para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório (C&R). Para ambas as variáveis dependentes o modelo que minimiza o QAIC foi o que usou para descrever a temperatura média um  $ns(2)$  centrado no percentil 50 da série com um *lag* descrito por um  $ns(5)$  e com 5 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados no extremos da série da temperatura; e para descrever a gripe um  $ns(5)$  centrado em 50 com um *lag* descrito por um  $ns(4)$  com 4 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50, que corresponde a uma taxa de incidência de síndrome gripal de 50/100000 habitantes, e o limite superior no máximo da serie da gripe. O modelo que minimiza o QBIC foi, para ambas as variáveis resposta, o que descreve a temperatura como linear e com um *lag* do tipo  $ns(4)$ , e aplica à gripe um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 (50/100000 habitantes) e linear a partir daí, com um *lag* descrito por  $ns(3)$ .

Os modelos que minimizam o QAIC não correspondem aos que minimizam o QBIC pelo que se torna necessário o recurso ao princípio da parcimónia. Os modelos que minimizam o QAIC usam no total 47 parâmetros para descrever a relação, enquanto os que minimizam o QBIC usam apenas 24 parâmetros para descrever a mesma relação. Assim, os últimos são os modelos selecionados para descrever a relação da mortalidade com a temperatura média e a taxa de incidência de Síndrome gripal.

O efeito global da temperatura média segundo este modelo, para ambas as variáveis resposta, é representado na figura 3.19 que mostra um gráfico tridimensional do risco relativo ao longo da temperatura média e do *lag* comparado com a temperatura de referência definida ( $13.35^{\circ}\text{C}$ ).

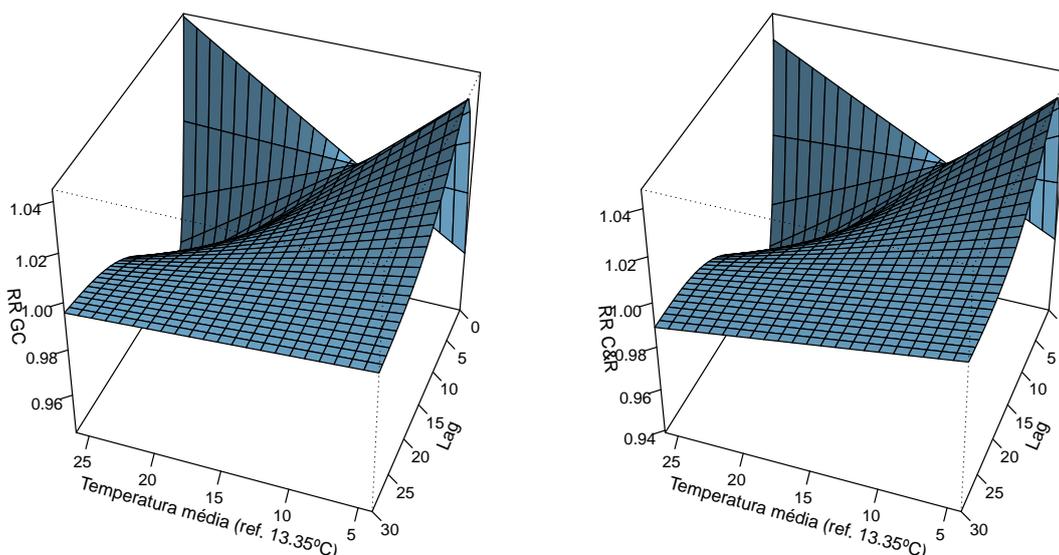


Figura 3.19: Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do *lag* no modelo com temperatura média e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

As figuras 3.20 e 3.21 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráfico de contorno. A azul nas temperaturas mais elevadas pode visualizar-se um possível efeito de colheita.

Os gráfico das figuras 3.19 a 3.21 denota um efeito imediato das temperaturas médias mais elevadas, e sugere a ocorrência de algum efeito de colheita nestas. O efeito máximo da temperatura corresponde a um Risco Relativo (RR) de 1.045 no *lag* 5 e na temperatura média  $4^{\circ}\text{C}$  para a mortalidade por todas as causas. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório o efeito máximo surge com a temperatura média  $4^{\circ}\text{C}$  e o *lag* 5 com um Risco Relativo de 1.048.

A figura 3.22 mostra o Risco Relativo global da temperatura média para a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. Representa a associação cumulativa ao longo de todos os *lags* avaliados.

A associação cumulativa entre a temperatura média e a mortalidade é superior para a

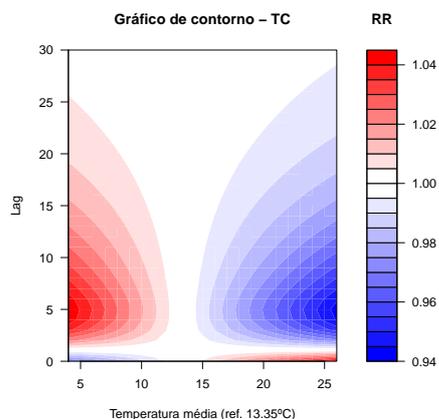


Figura 3.20: Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a temperatura média e lag em modelo com temperatura média e gripe.

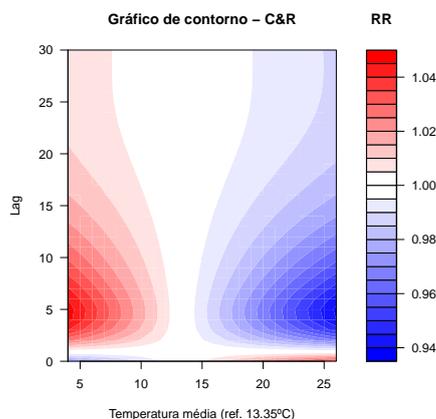


Figura 3.21: Gráfico de contorno relativo doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e lag em modelo com temperatura média e gripe.

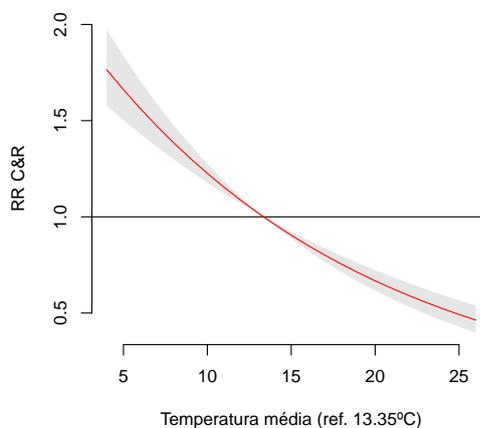
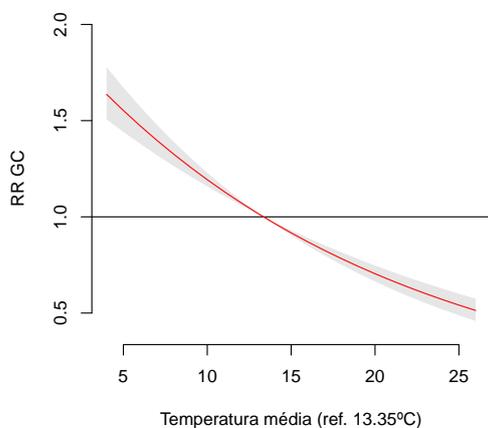


Figura 3.22: Risco Relativo Global da temperatura média para mortalidade por todas as causas e por doenças do aparelho circulatório e respiratório.

mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório (RR=1.765 (IC95%: 1.578,1.975)) comparativamente à mortalidade por todas as causas (RR=1.637(IC95%: 1.506,1.778))).

Numa perspectiva de verificar a incerteza destas associações foram construídos gráficos para os efeitos da temperatura média a lags específicos e do lag a temperaturas específicas. As figuras 3.23 e 3.24 mostra o efeito da temperatura média nos lags 0, 5, 10 e

20, e o efeito do *lag* nas temperaturas médias correspondentes ao percentil 0.1 , 5, 95 e 99.9 da distribuição da temperatura média (respectivamente 4, 8, 20, e 26°C) tentando corresponder a respectivamente frio extremo, tempo frio, tempo moderado e calor.

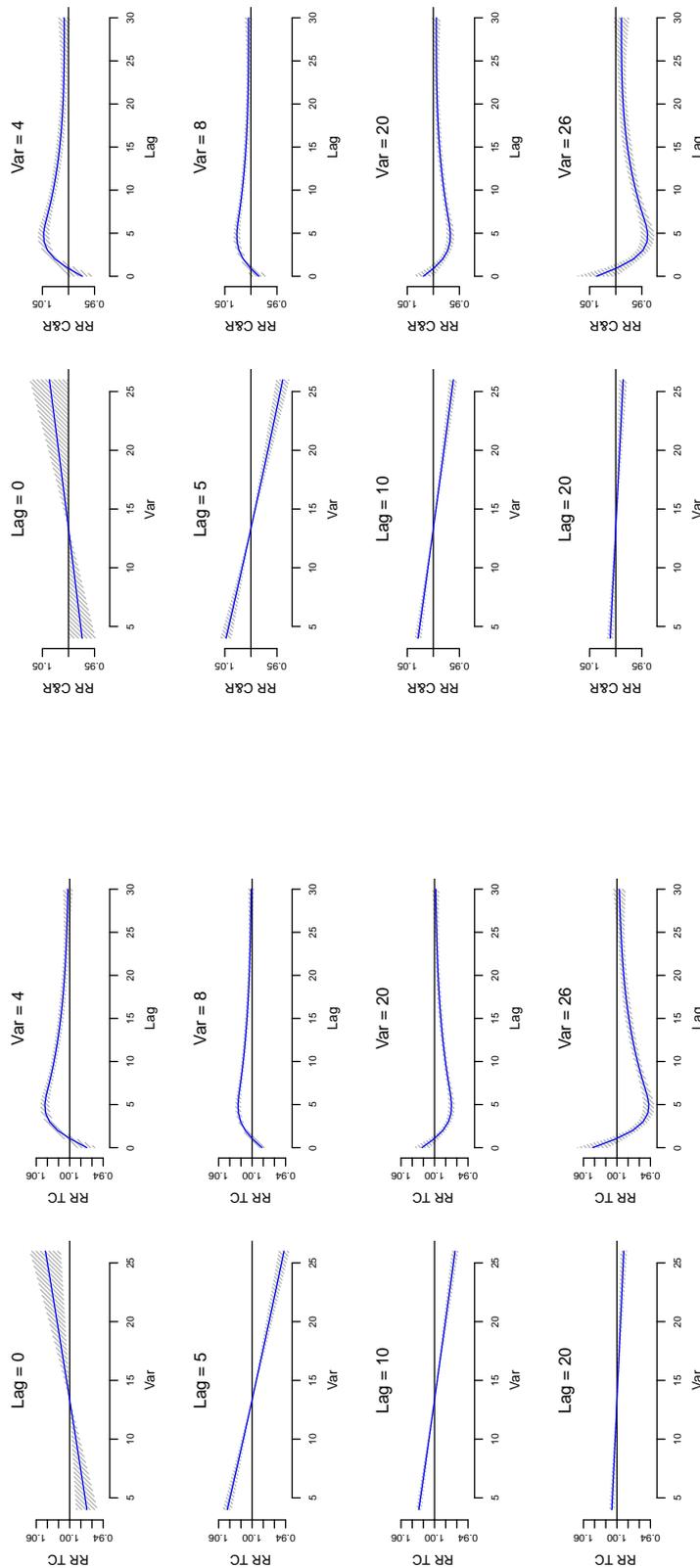


Figura 3.23: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura média para mortalidade por todas as causas.

Figura 3.24: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

### 3.3.2 Temperatura média, Intensidade do Vento e Gripe

Foram testados 30618 modelos para descrever a mortalidade em função da temperatura média, vento e gripe. Para a mortalidade por todas as causas, o modelo que minimiza o QAIC foi o que usou para descrever a temperatura média uma função linear centrada no percentil 50 da série com um *lag* descrito por um  $ns(5)$  com 5 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados nos extremos da série da temperatura; para descrever o vento uma função linear centrada em 0 com um *lag* linear; e para descrever a gripe um  $ns(5)$  centrado em 50 (50/100000 habitantes) com um *lag* descrito por um  $ns(4)$  com 4 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da serie da gripe. O modelo que minimiza o QAIC para a mortalidade por Doenças dos aparelhos circulatório e respiratório descreve a temperatura média através de um  $ns(2)$  centrado no percentil 50 com um *lag* descrito por um  $ns(5)$  com 5 nós igualmente espaçados; para descrever o vento uma função linear centrada em 0 e um *lag* igualmente linear; e para descrever a gripe um  $ns(5)$  centrado em 50 com um *lag* descrito por um  $ns(4)$  com 4 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da serie da gripe.

Os modelos que minimizam o QBIC têm a temperatura como linear e com um *lag* descrito por um  $ns(4)$ , e o vento como linear com *lag* linear para ambas as variáveis resposta. Para a mortalidade por todas as causas a gripe é descrita com um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 e linear a partir daí com um *lag* descrito como linear, enquanto que para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório é descrita com um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 e linear a partir daí com um *lag* descrito por um  $ns(3)$  com 3 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da serie da gripe.

Os modelos que minizam o QAIC não correspondem aos que minizam o QBIC pelo que se torna necessário o recurso ao princípio da parcimónia. O modelo que minimiza o QAIC usa no total 44 parâmetros, enquanto o que minimiza o QBIC usa apenas 25 parâmetros para descrever a relação com a mortalidade por todas as causas. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório o modelo que minimiza o QAIC usa 49 parâmetros, enquanto o que minimiza o QBIC usa apenas 26. Assim, para ambas as variáveis resposta, e de acordo com o princípio da parcimónia, é seleccionado o modelo que minimiza o QBIC para a descrição da relação entre a

mortalidade e as variáveis temperatura média, vento e gripe.

Os efeitos da temperatura média neste modelo, para ambas as variáveis resposta, são representados na figura 3.25. As figuras 3.26 e 3.27 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráficos de contorno.

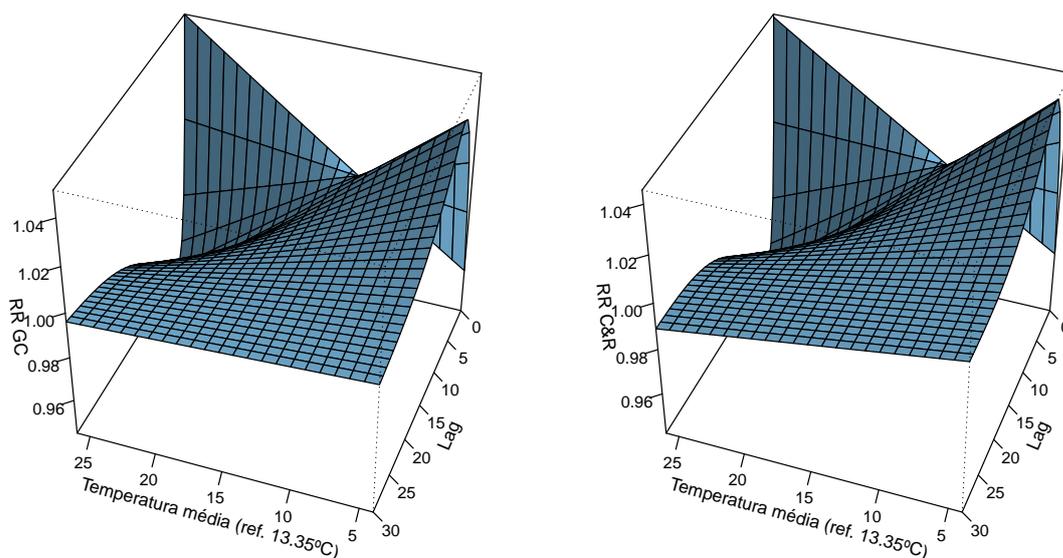


Figura 3.25: Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do *lag* no modelo com temperatura média, vento e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

O efeito máximo da temperatura corresponde a um risco relativo de 1.051 no *lag* 0 e na temperatura média 26°C para a mortalidade por todas as causas. Nas temperaturas baixas observamos um RR máximo de 1.043 na temperatura média mais baixa registada e num *lag* de 5 dias. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório o efeito máximo surge com a temperatura média 4°C e o *lag* 5 com um Risco Relativo de 1.045.

A figura 3.28 representa os efeitos da intensidade do vento neste modelo, para ambas as variáveis resposta.

As figuras 3.29 e 3.30 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráficos de contorno.

O efeito máximo da intensidade do vento corresponde a um risco relativo de 1.028 no *lag* 0 e na intensidade do vento 11 m/s para a mortalidade por todas as causas. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório o efeito máximo

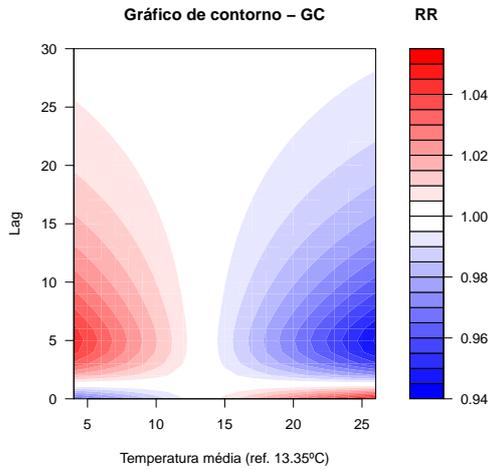


Figura 3.26: Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a temperatura média e *lag* em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe.

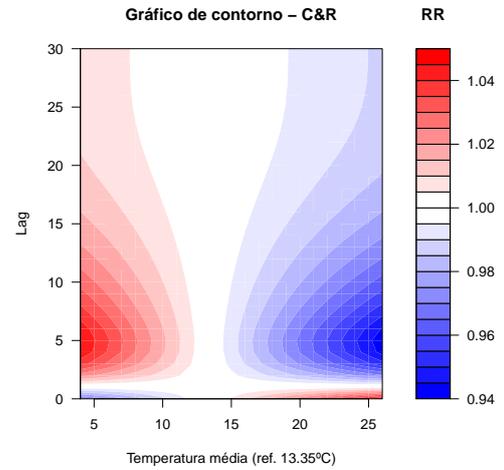


Figura 3.27: Gráfico de contorno relativo a doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e *lag* em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe.

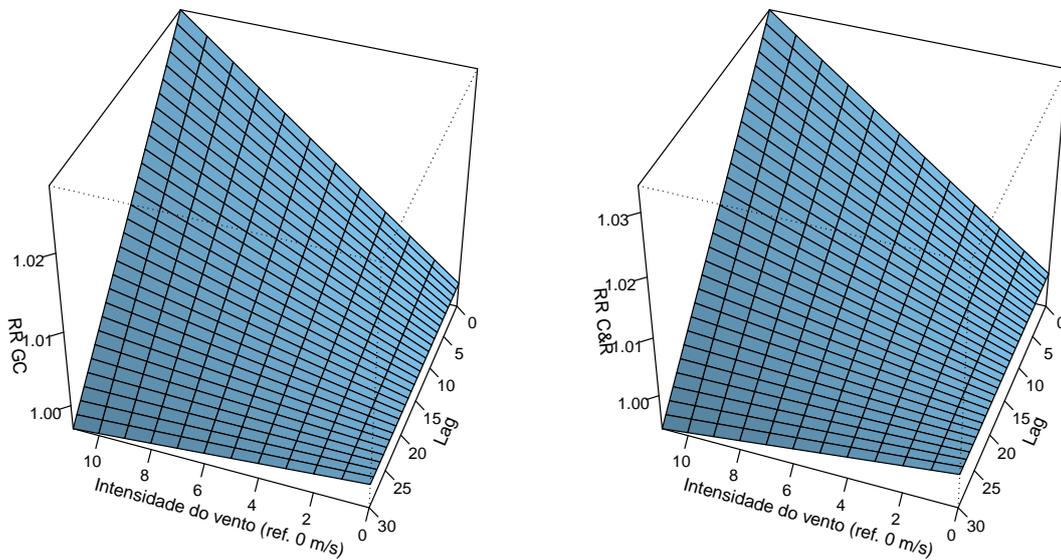


Figura 3.28: Gráfico 3D do efeito da intensidade do vento ao longo desta e do *lag* no modelo com temperatura média, vento e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

surge com a intensidade do vento 11°C e o *lag* 0 com um Risco Relativo de 1.034.

O efeito acumulado da temperatura média neste modelo é representado nos dois graficos

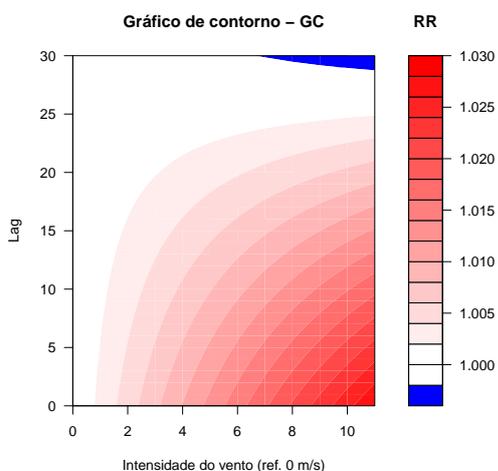


Figura 3.29: Gráfico de contorno relativo a todas as causas de acordo com a intensidade do vento e *lag* em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe.

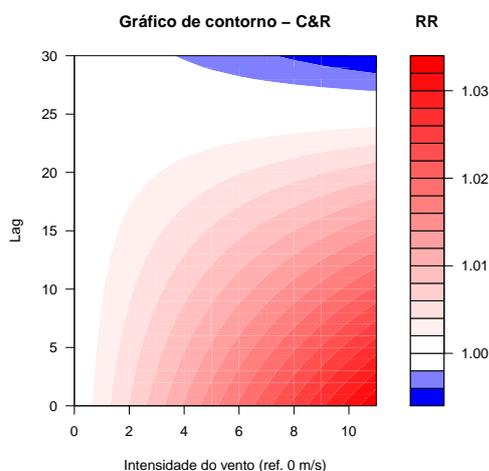


Figura 3.30: Gráfico de contorno relativo a doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a intensidade do vento e *lag* em modelo com temperatura média, intensidade do vento e gripe.

superiores da figura 3.31, sendo nos gráficos inferiores representado o efeito cumulativo da intensidade do vento.

Numa perspectiva de verificar a incerteza destas associações foram construídos gráficos para os efeitos da temperatura média a *lags* específicos e do *lag* a temperaturas específicas. As figuras 3.32 e 3.33 mostram o efeito da temperatura média nos *lags* 0, 5, 10 e 20, e o efeito do *lag* nas temperaturas médias correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99.9 da distribuição da temperatura média (4, 8, 20, e 26) correspondendo a respetivamente frio extremo, tempo frio, tempo moderado e calor. Para intensidade do vento foi efetuada a mesma análise considerando os seus percentis 0.1, 5, 95 e 99.9 (respetivamente 0, 1, 6, e 11 m/s) tentando corresponder a intensidade do vento muito fraca, intensidade do vento fraca, intensidade do vento moderada e intensidade do vento elevada (Figuras 3.34 e 3.35).

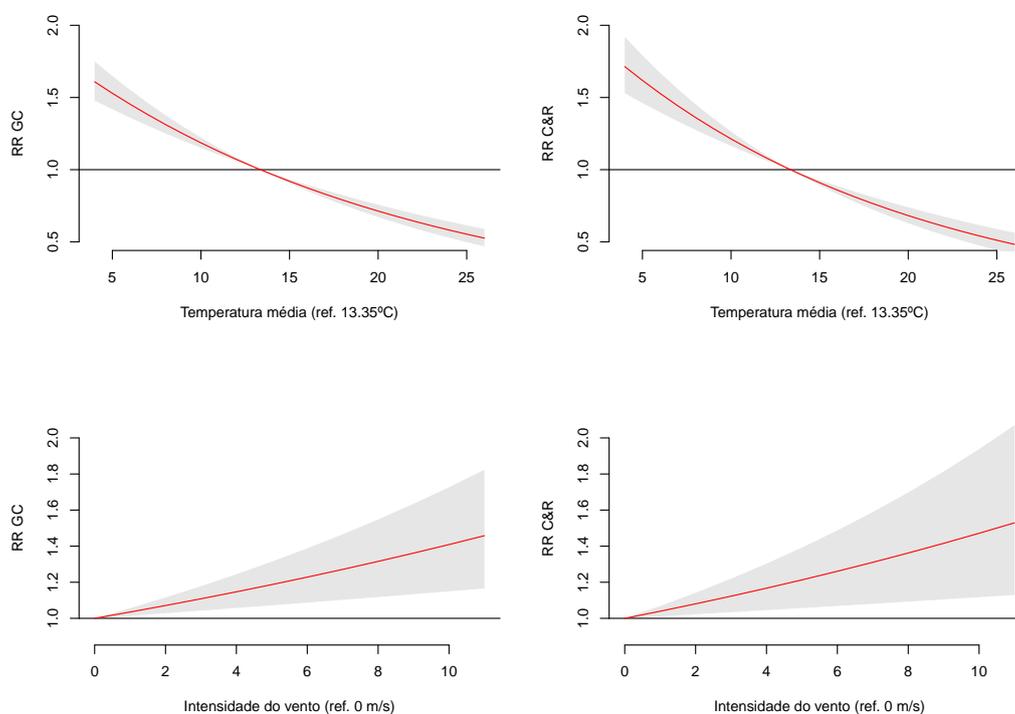


Figura 3.31: Risco Relativo Global da temperatura média e da Intensidade do vento para todas as causas e doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe.

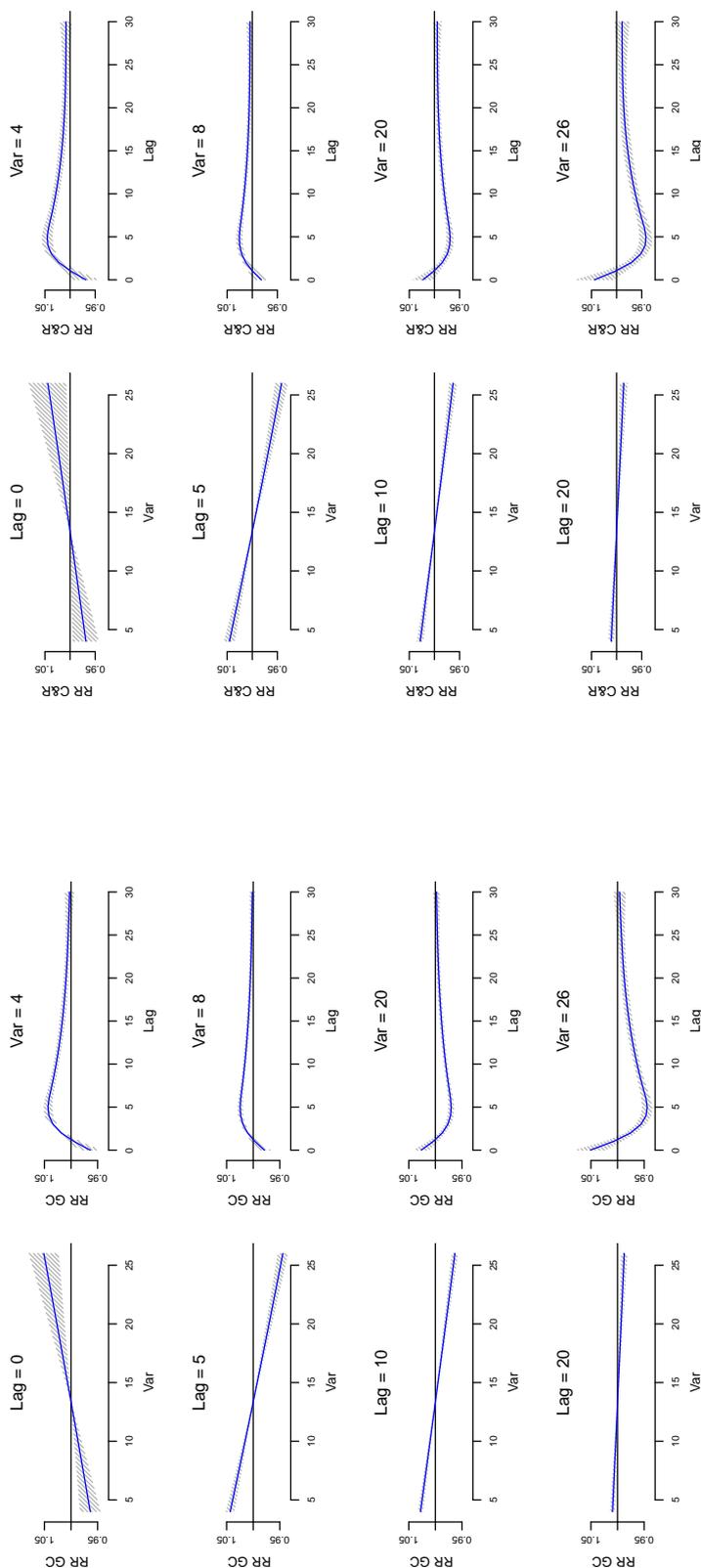


Figura 3.32: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos (0, 5, 10 e 20), e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura média para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, vento e gripe.

Figura 3.33: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe.

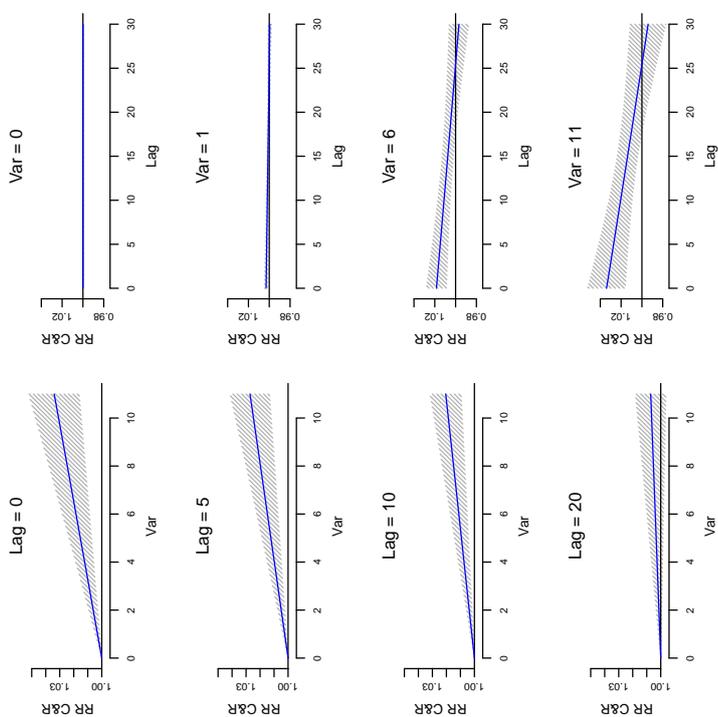


Figura 3.34: Gráfico de RR por intensidade do vento em *lags* específicos (0, 5, 10 e 20), e de RR por *lag* a intensidades do vento correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da sua distribuição para a mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, vento e gripe.

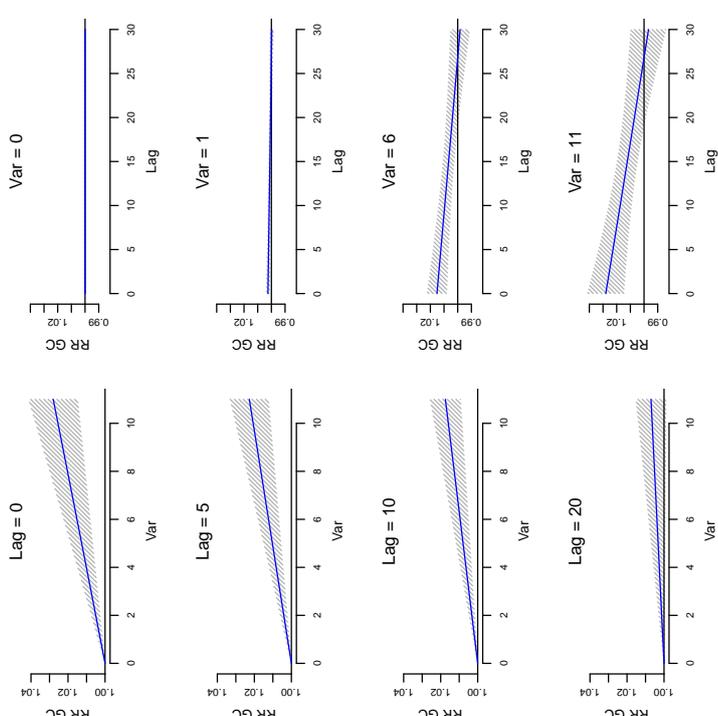


Figura 3.35: Gráfico de RR por intensidade do vento em *lags* específicos, e de RR por *lag* a intensidades do vento correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da sua distribuição para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, vento e gripe.

### 3.3.3 Temperatura média, Humidade e Gripe

Foram testados 6804 modelos para ajustar a relação entre a mortalidade e a temperatura média, a humidade e a gripe. O modelo que minimiza o QAIC para a mortalidade por todas as causas foi o que usou para descrever a temperatura média um *poly*(2) centrado no percentil 50 da série com um *lag* descrito por um *ns*(5) com 5 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados no extremos da série da temperatura; para descrever a humidade um *threshold* duplo assumindo que entre 40 e 60 não há efeito, e um *lag* linear; e para descrever a gripe um *ns*(5) centrado em 50 (50/100000 habitantes) com um *lag* descrito por um *ns*(4) com 4 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da série da gripe. O modelo que minimiza o QAIC para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório considera a temperatura como um *ns*(2) com um *lag* descrito por um *ns*(4) com 4 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados no extremos da série da temperatura, para descrever a humidade um *threshold* duplo assumindo que entre 40 e 60 não há efeito e um *lag* linear, e para descrever a gripe um *threshold* centrado em 50 com um *lag* descrito por um *poly*(4).

O modelo que minimiza o QBIC é comum para mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório e têm a temperatura descrita como linear e com um *lag* do tipo *ns*(4), a humidade descrita por um *threshold* duplo assumindo que entre 40 e 60 não há efeito e um *lag* linear, e a gripe como tendo um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 (50/100000 habitantes) e linear a partir daí com um *lag* descrito por um *ns*(3) com 3 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da serie da gripe.

Os modelos que minizam o QAIC não correspondem aos que minizam o QBIC pelo que se torna necessário o recurso ao princípio da parcimónia. Os modelos que minimizam o QAIC usam no total 51 e 34 parâmetros para descrever as relações, respetivamente, com a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, enquanto os que minimizam o QBIC usam apenas 28 parâmetros para descrever essas mesmas relações. Assim, os modelos que minimizam o QBIC são os modelos selecionados para descrever a relação da mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório com a temperatura média, humidade e a taxa de incidência de síndrome gripal.

Os efeitos da temperatura média segundo este modelo, para ambas as variáveis resposta,

são representados na figura 3.36.

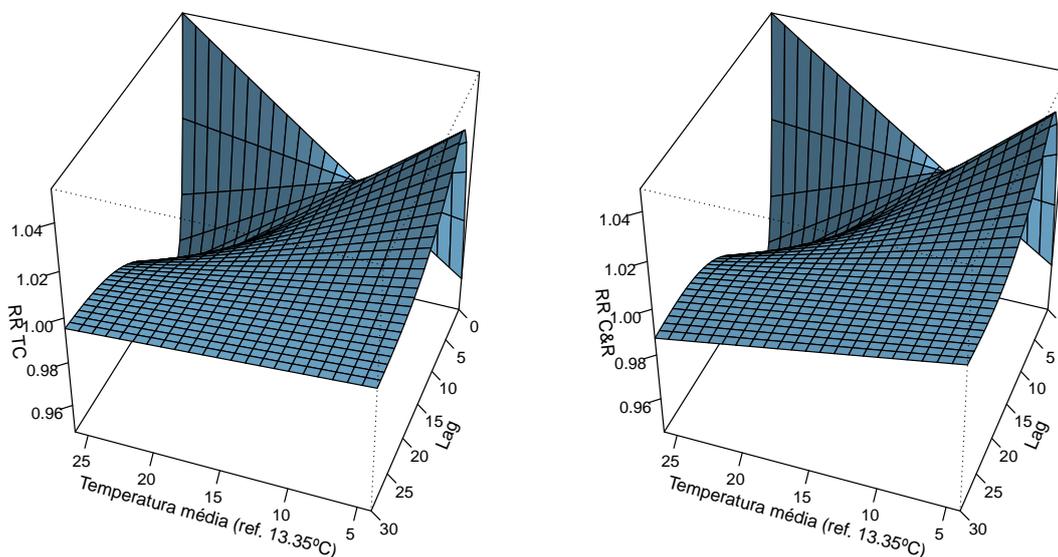


Figura 3.36: Gráfico 3D do efeito da temperatura média e do *lag* no modelo com temperatura média, humidade e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

As figuras 3.37 e 3.38 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráficos de contorno.

O efeito máximo da temperatura corresponde a um RR de 1.053 no *lag* 0 e na temperatura média 26°C para a mortalidade por todas as causas. Nas temperaturas há um RR máximo de 1.041 na temperatura média mais baixa registada e num *lag* de 5 dias. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório o efeito máximo surge com a temperatura média 26°C e o *lag* 0 com um RR de 1.049. Nas temperaturas baixas há um RR máximo de 1.043 na temperatura média mais baixa registada e num *lag* de 5 dias.

Os efeitos da humidade segundo este modelo, e para ambas as variáveis resposta, são representados na figura 3.39.

As figuras 3.40 e 3.41 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráficos de contorno.

O efeito máximo da humidade corresponde a um RR de 1.121 no *lag* 0 e na temperatura média 23 para GC. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e

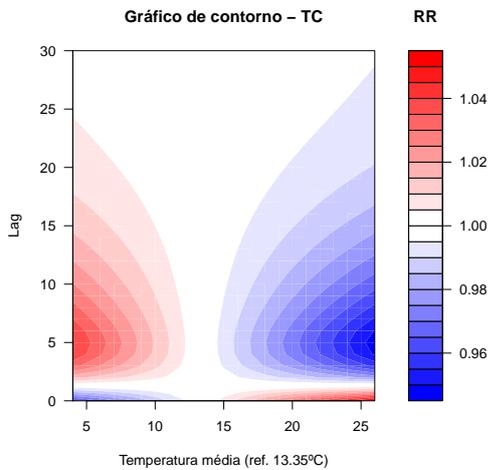


Figura 3.37: Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com a temperatura média e *lag* em modelo com temperatura média, humidade e gripe.

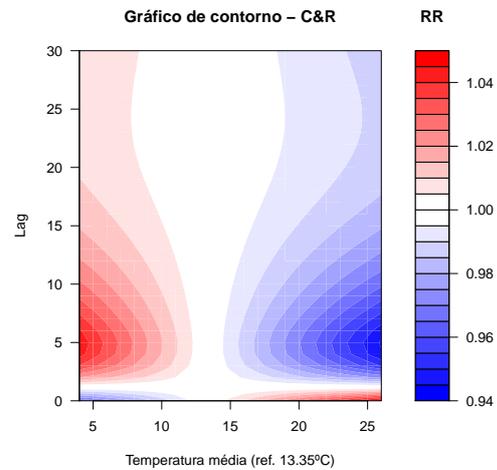


Figura 3.38: Gráfico de contorno relativo a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e *lag* em modelo com temperatura média, humidade e gripe.

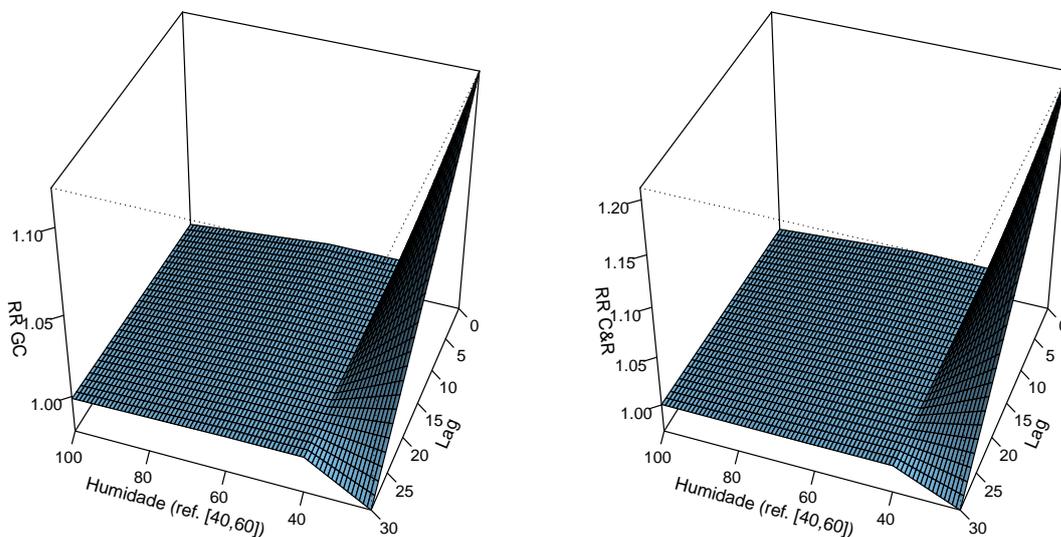


Figura 3.39: Gráfico 3D do efeito da humidade e do *lag* no modelo com temperatura média, humidade e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

respiratório o efeito máximo surge com a temperatura média 23 e o *lag* 0 com um RR de 1.21.

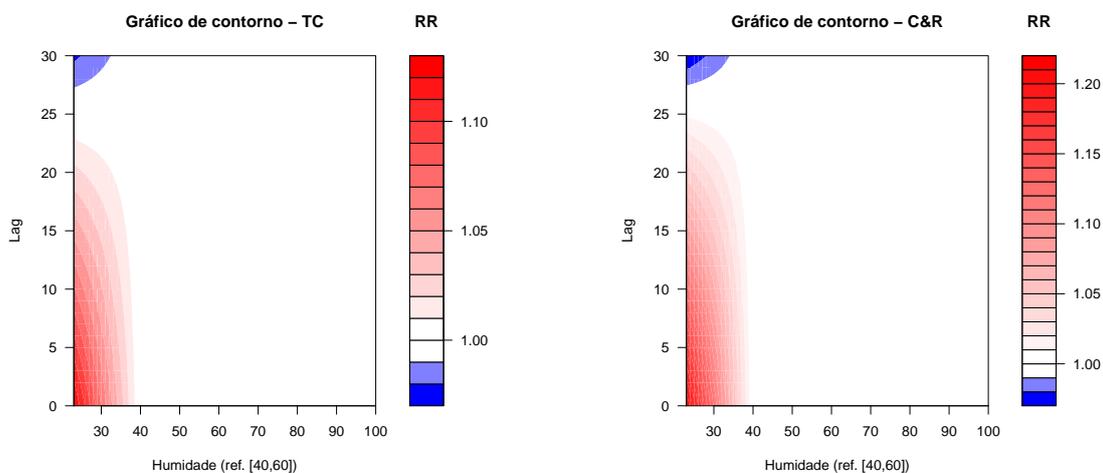


Figura 3.40: Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com temperatura média e lag em modelo com temperatura média, humidade e gripe.

Figura 3.41: Gráfico de contorno relativo a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura média e lag em modelo com temperatura média, humidade e gripe.

O efeito acumulado da humidade para ambas as mortalidades neste modelo é representado nos dois graficos superiores da figura 3.42, sendo nos gráficos inferiores da mesma figura representado o efeito global da humidade.

Numa perspectiva de verificar a incerteza destas associações, foram construídos gráficos para os efeitos da temperatura média a lags específicos e do lag a temperaturas específicas. As figuras 3.43 e 3.44 mostra o efeito da temperatura média nos lags 0, 5, 10 e 20, e o efeito do lag nas temperaturas médias correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99.9 da distribuição da temperatura média (respectivamente 4, 8, 20, e 26°C) tentando corresponder a frio extremo, tempo frio, tempo moderado e calor. Para a humidade foi efetuada a mesma analise considerando os seus percentis 0.1, 5, 95 e 99.9 (30, 51, 98, e 100) que correspondem a tempo muito seco, tempo seco, humidade moderada e ar saturado, sendo a sua representação apresentada nas figuras 3.45 e 3.46

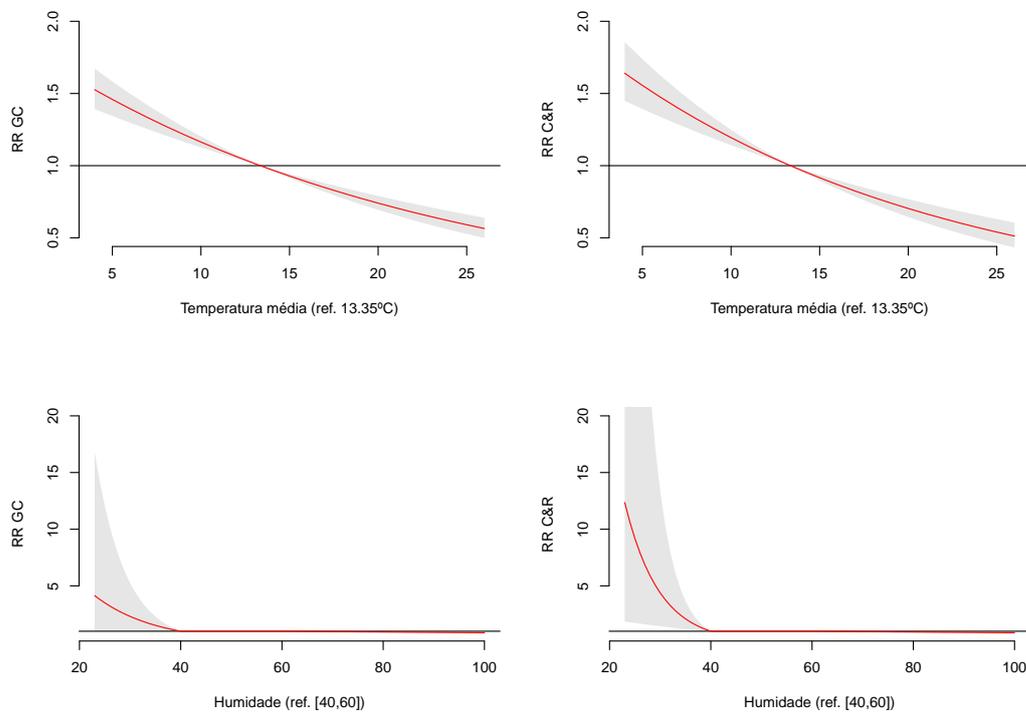


Figura 3.42: Risco Relativo Global da temperatura média para mortalidade por todas as causas e por doenças do aparelho circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e vento.

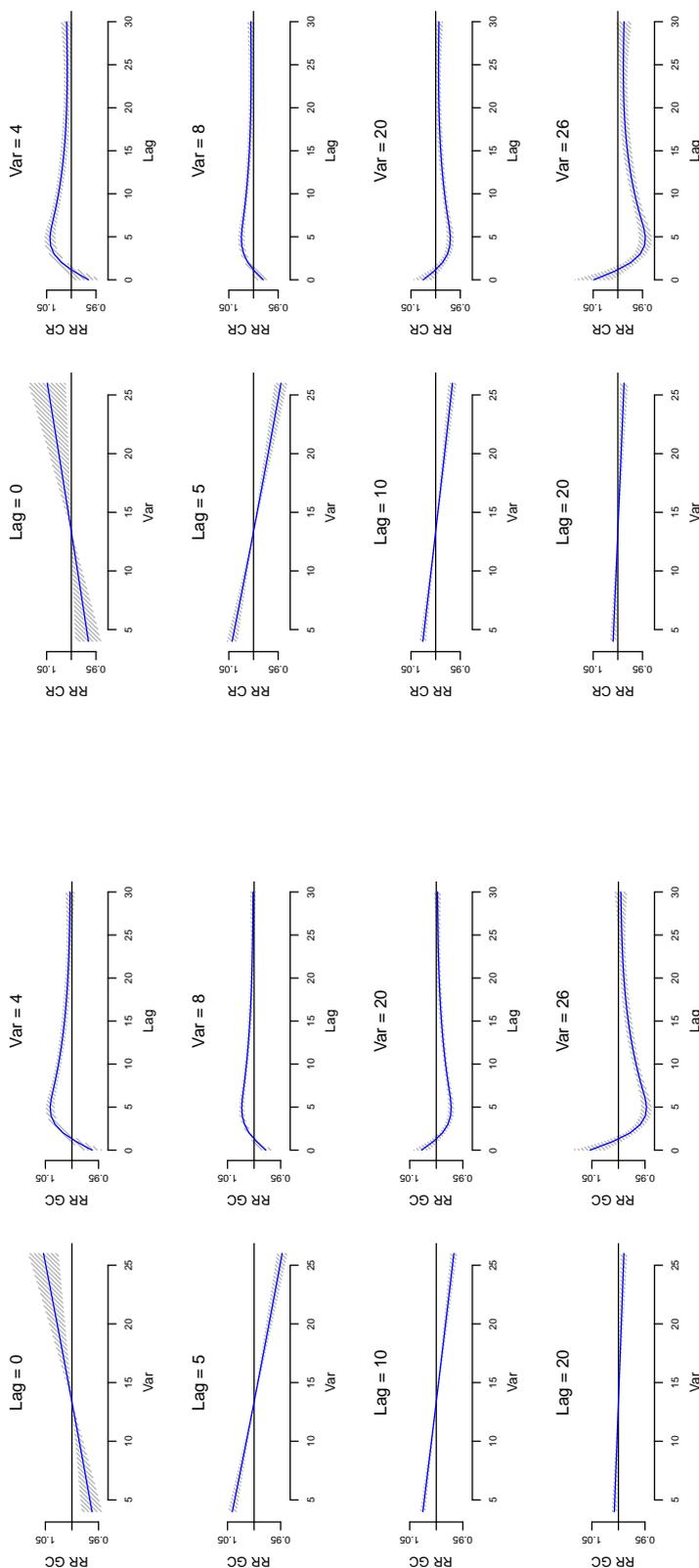


Figura 3.43: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, humidade e gripe.

Figura 3.44: Gráfico de RR por temperatura média em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e gripe.

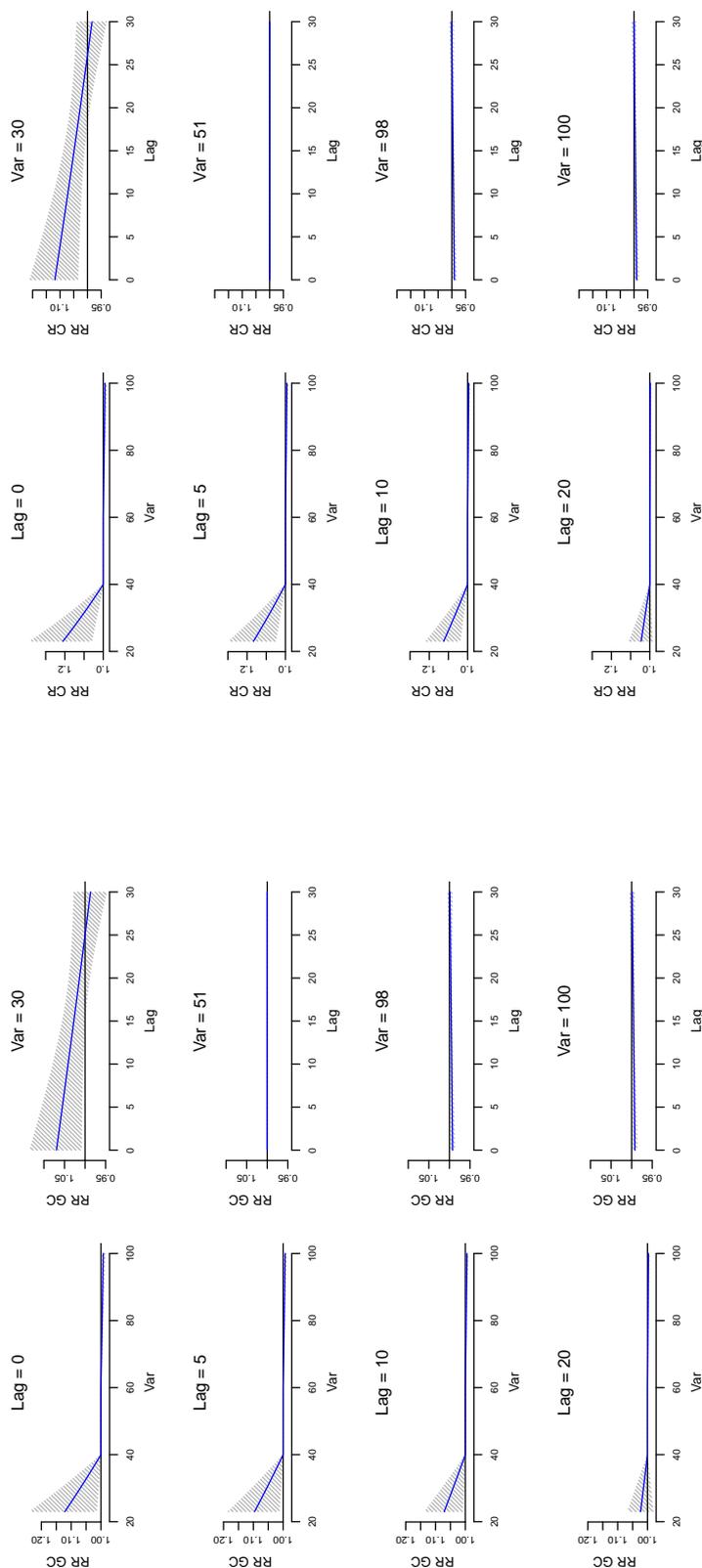


Figura 3.45: Gráfico de RR por humidade em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da humidade para mortalidade por todas as causas para o modelo com temperatura média, humidade e gripe.

Figura 3.46: Gráfico de RR por humidade em *lags* específicos, e de RR por *lag* a temperaturas correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da humidade para mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório no modelo com temperatura média, humidade e gripe.

### 3.3.4 Temperatura *Windchill* e Gripe

Foram testados, para a relação entre a mortalidade e as cvaroáveis temperatura *windchill* e gripe um total de 2916 modelos. O modelo que minimiza o QAIC para a mortalidade por todas as causas foi o que considerou o *windchill* como *linear* centrado no percentil 50 da série (11.57 com um *lag* descrito por um *ns*(5) e com 5 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados nos extremos da série da temperatura *windchill*; e para descrever a gripe um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 e linear a partir daí com um *lag* descrito por *poly*(4). Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, o modelo que minimiza o QAIC descreve a temperatura *windchill* como linear com um *lag* decrito por um *ns*(4) e com 4 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados no extremos da série da temperatura; e a gripe com um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 (50/100000 habitantes) e linear a partir daí com um *lag* descrito por *ns*(4) com 4 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da série da gripe.

O modelo que minimiza o QBIC é comum para ambas as variáveis resposta e considera a temperatura como linear e com um *lag* do tipo *ns*(4), e a gripe como tendo um *threshold* assumindo que o seu efeito é nulo até 50 e linear a partir daí com um *lag* descrito por um *ns*(3) com 3 nós igualmente espaçados, sendo o limite inferior dos nós colocado em 50 e o limite superior no máximo da série da gripe.

Os modelos que minimizam o QAIC usam no total 26 e 25 parâmetros para descrever a relação, respectivamente, com a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. Os modelos que minimizam o QBIC usam apenas 24 parâmetros para descrever a mesma relação. Assim, tendo em conta que os resultados não são concordantes e pelo cumprimento do princípio da parcimónia, os modelos que minimizam o QBIC são os selecionado para descrever a relação da mortalidade por todas as causas, e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, com a temperatura *windchill* e a taxa de incidência de Síndrome gripal.

Os efeitos da temperatura *windchill* segundo estes modelo, para ambos as variáveis resposta, são representados na figura 3.47. As figuras 3.48 e 3.49 mostram a mesma informação mas sob a forma de gráficos de contorno.

O efeito máximo da temperatura *windchill* corresponde a um Risco relativo de 1.047 no *lag* 5 na temperatura *windchill* -3 para a mortalidade por todas as causas. Para a

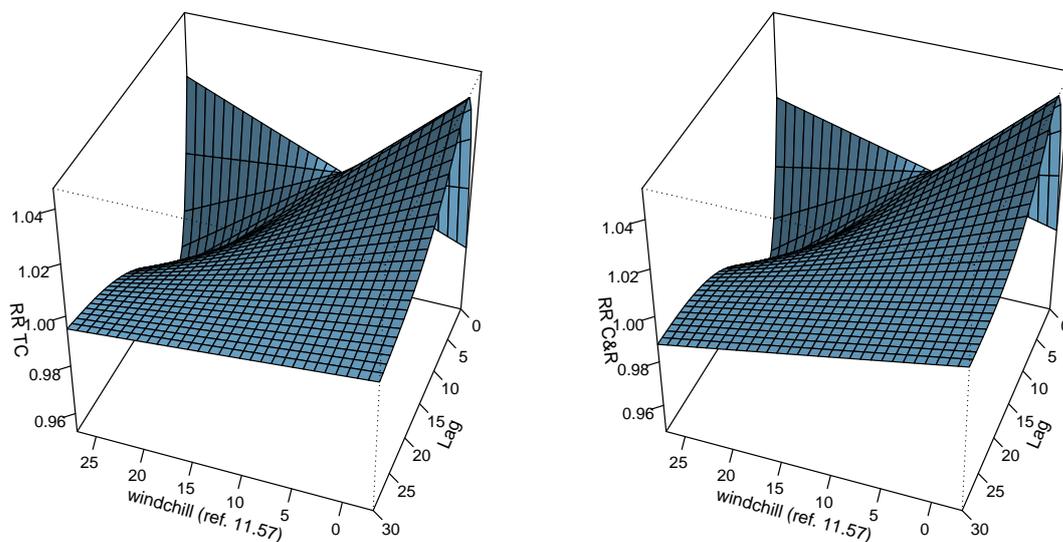


Figura 3.47: Gráfico 3D do efeito da temperatura *windchill* e do *lag* no modelo com *windchill* e gripe. Esquerda: Mortalidade por todas as causas; Direita: Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

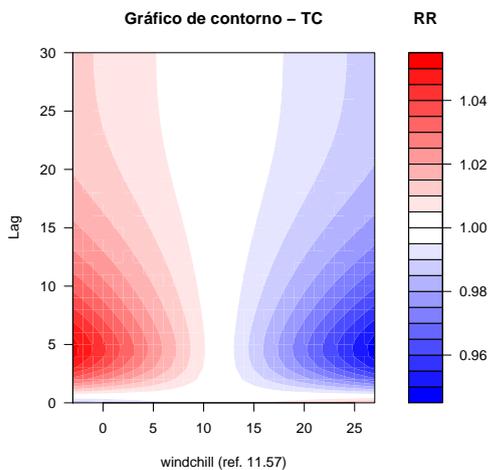


Figura 3.48: Gráfico de contorno relativo a mortalidade por todas as causas de acordo com a temperatura *windchill* e *lag* em modelo com temperatura *windchill* e gripe.

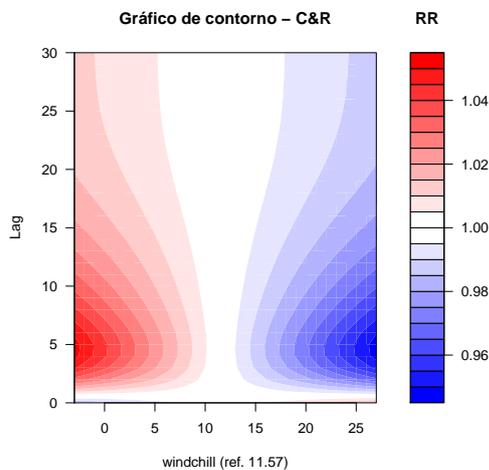


Figura 3.49: Gráfico de contorno relativo à mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório de acordo com a temperatura *windchill* e *lag* em modelo com temperatura *windchill* e gripe.

mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, o efeito máximo surge no mesmo valor de temperatura *windchill* e no mesmo *lag* com um RR superior (1.052).

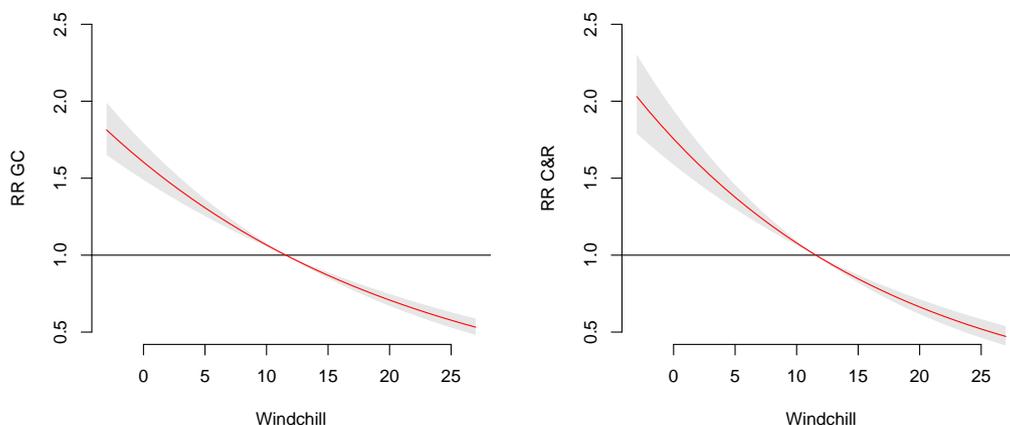


Figura 3.50: Risco Relativo Global da temperatura *windchill* para a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

Os efeitos acumulados da temperatura *windchill* ao longo do *lag* são apresentados na figura 3.50

Numa perspectiva de verificar a incerteza destas associações foram construídos gráficos para os efeitos da temperatura *windchill* a *lags* específicos e do *lag* a temperaturas *windchill* específicas. As figuras 3.51 e 3.52 e mostram o efeito da temperatura *windchill* nos *lags* 0, 5, 10 e 20, e o efeito do *lag* nas temperaturas *windchill* correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99.9 da distribuição da série de temperaturas *windchill* (respectivamente -2, 3, 20, e 24) correspondendo a respectivamente frio extremo, tempo frio, tempo moderado e calor.

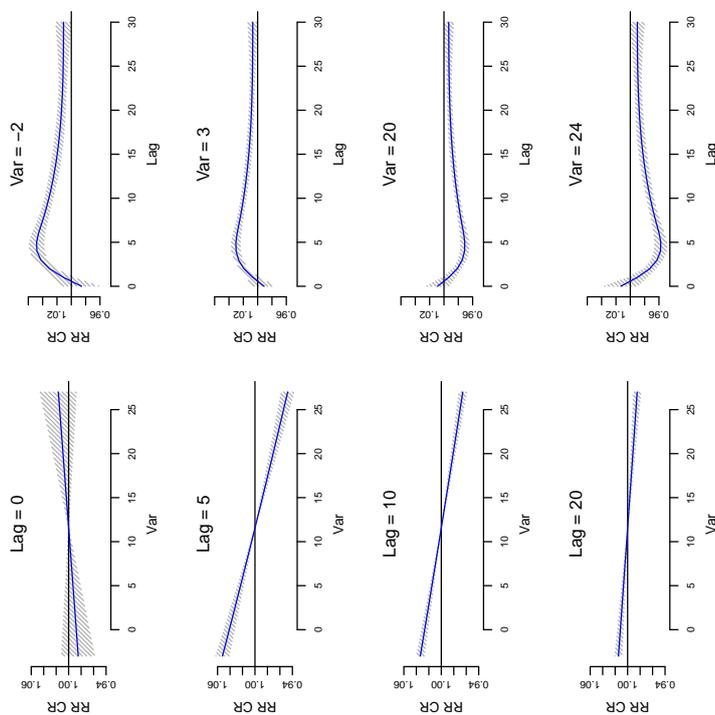


Figura 3.52: Gráfico de RR por windchill em lags específicos, e de RR por lag a temperaturas *windchill* correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição da temperatura *windchill* para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

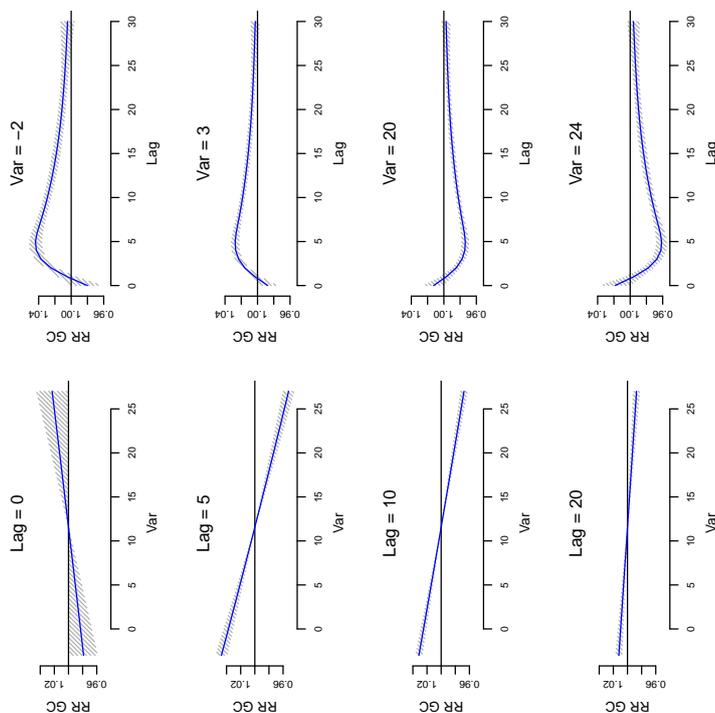


Figura 3.51: Gráfico de RR por windchill em lags específicos, e de RR por lag a temperaturas *windchill* correspondentes ao percentil 0.1, 5, 95 e 99 da distribuição de temperatura *windchill* para a mortalidade por todas as causas.

## 3.4 Comparação dos modelos

Selecione os modelos, estes foram comparados afim de escolher o "melhor modelo", ou seja o que melhor explica os dados observados de mortalidade por todas as causas bem como por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. Nesta secção serão apresentados esses testes.

### 3.4.1 Mortalidade por Todas as Causas

O sumário detalhado do ajustamento (com apresentação do código R) dos modelos considerados para a mortalidade por todas as causas é apresentado no anexo B.1 da página 97. No mesmo anexo é não só apresentado o código do R, como também as estimativas dos parâmetros dos diversos modelos, e os respectivos *p-values*. Encontra-se também neste anexo, uma breve análise aos resíduos dos modelos para verificar que as hipóteses subjacentes aos modelos não são violadas e, portanto, todos os modelos que vão ser comparados na secção, se ajustam aos dados.

Pela análise, os modelos parecem comportar-se de forma muito semelhante, pelo que para comparação destes foi criada a tabela 3.5 que resume algumas medidas concretas. Na primeira parte encontra-se um resumo da forma como as covariáveis foram consideradas em cada um dos modelos. Na segunda parte apresenta-se o número de parâmetros do modelo final estimado e a dispersão que permite quantificar até que ponto há sobre-dispersão. Na terceira parte são apresentadas medidas que permitem a avaliação da qualidade do ajustamento (QAIC e QBIC) e das estimativas (RMSE e MAE) do modelo.

A figura 3.53 apresenta, para os quatro modelos, as curvas lag-resposta para as temperaturas médias que correspondem ao percentil 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média (respectivamente -2, 0, 3, 5, e 24°C) e da série da temperatura *windchill* (respectivamente -2, 3, 20, e 24°C). Os gráficos mostram a evolução do RR de uma determinada temperatura ao longo do *lag*.

A análise isolada de cada modelo não parece dar grande informação, pelo que foi construído um gráfico com os efeitos da temperatura (média e *windchill*) específicos para cada um dos quatro modelos. Como a temperatura média não corresponde ao mesmo valor em temperatura *windchill*, e para uma melhor comparação de resultados será utilizado o percentil 0.01 de cada uma das séries. Essa representação é apresentada

Tabela 3.5: Resultado dos modelos seleccionados para a mortalidade por todas as causas.

	<i>Tmedia</i>	<i>TmediaVento</i>	<i>TmediaHumidade</i>	<i>Twindchill</i>
temperatura	lin	lin	lin	lin
<i>lag</i>	ns(4)	ns(4)	ns(4)	ns(4)
vento	–	lin	–	–
<i>lag</i>	–	lin	–	–
humidade	–	–	thr duplo	–
<i>lag</i>	–	–	lin	–
WC	–	–	–	lin
<i>lag</i>	–	–	–	ns(4)
Gripe	thr	thr	thr	thr
<i>lag</i>	ns(3)	lin	ns(3)	ns(3)
Parâmetros	24	25	28	24
Dispersão	1.13	1.12	1.11	1.12
QAIC	10582.3	10573.14	10559.04	10571.61
QBIC	10731.81	10728.13	10730.57	10720.14
RMSE	7.66	7.62	7.58	7.63
MAE	6.02	6.01	5.97	6.02

na figura 3.54.

O modelo que reconhece um maior efeito da temperatura extrema baixa é o que considera apenas a temperatura média (RR=1.045) logo seguido pelo que considera a temperatura *windchill* (RR=1.044). No entanto, no decorrer de todo o período em análise o modelo que considera a temperatura *windchill* apresenta riscos relativos superiores aos dos outros modelos testados sendo o RR do *lag* 5 o único em que é ultrapassado pelo modelo que considera apenas a temperatura média. A tabela 3.6 apresenta estes resultados em pormenor, com os intervalos de confiança associados a 95%, sendo possível verificar a significância dos riscos relativos a partir do *lag* 2 e até ao *lag* entre 24 e 27.

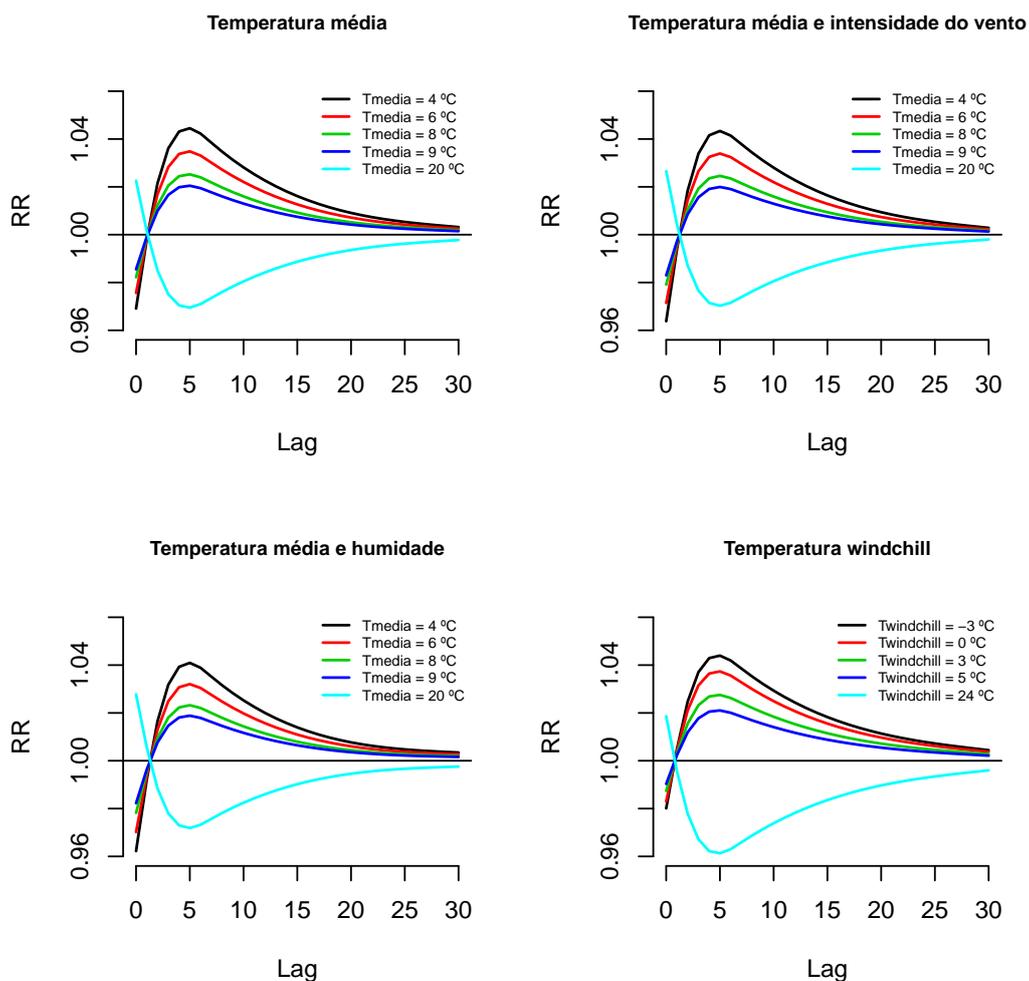


Figura 3.53: Gráficos com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes aos percentis 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média ou temperatura *windchill* para a mortalidade por todas as causas. A referência é o Percentil 50 das séries.

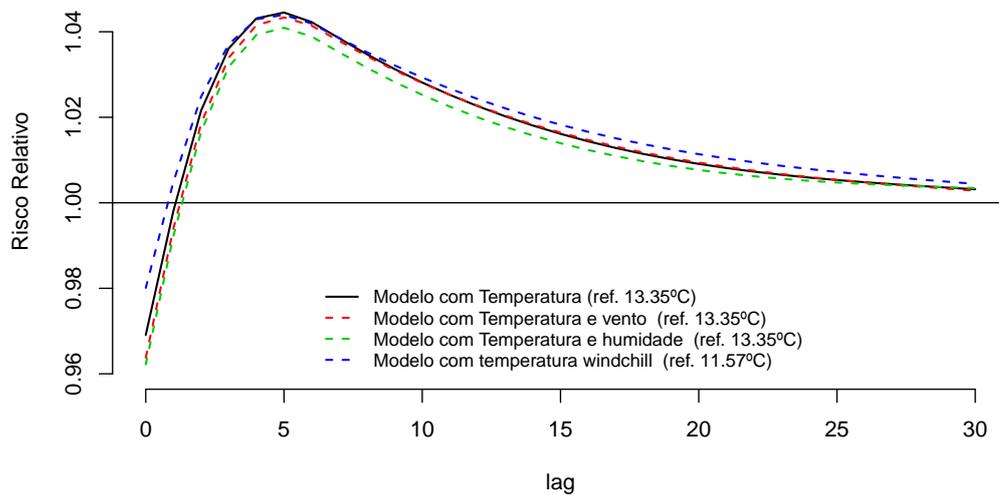


Figura 3.54: Gráfico Com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 das séries de temperaturas (média ou *windchill*), tendo como referência o seu Percentil 50 para a mortalidade por todas as causas.

	Temperatura (ref. 13.35°C)	Temperatura e vento (ref. 13.35°C)	Temperatura e humidade (ref. 13.35°C)	Temperatura windchill (ref. 11.57)
lag 0	0.969 (0.950,0.988)	0.964 (0.945,0.983)	0.962 (0.943,0.981)	0.980 (0.962,0.999)
lag 1	0.998 (0.987,1.009)	0.994 (0.983,1.005)	0.992 (0.981,1.004)	1.005 (0.994,1.016)
lag 2	1.022 (1.015,1.028)	1.019 (1.012,1.025)	1.017 (1.009,1.024)	1.025 (1.018,1.032)
lag 3	1.036 (1.029,1.043)	1.034 (1.027,1.041)	1.032 (1.025,1.039)	1.037 (1.030,1.044)
lag 4	1.043 (1.036,1.051)	1.042 (1.034,1.049)	1.039 (1.032,1.047)	1.043 (1.035,1.051)
lag 5	1.045 (1.037,1.052)	1.043 (1.036,1.051)	1.041 (1.033,1.049)	1.044 (1.037,1.051)
lag 6	1.042 (1.036,1.049)	1.041 (1.035,1.048)	1.039 (1.032,1.046)	1.042 (1.035,1.049)
lag 7	1.038 (1.033,1.044)	1.038 (1.032,1.043)	1.035 (1.003,1.041)	1.039 (1.033,1.044)
lag 8	1.035 (1.030,1.040)	1.034 (1.030,1.039)	1.032 (1.027,1.037)	1.035 (1.030,1.040)
lag 9	1.031 (1.027,1.036)	1.031 (1.027,1.035)	1.028 (1.024,1.033)	1.032 (1.028,1.037)
lag 10	1.028 (1.024,1.032)	1.028 (1.024,1.032)	1.025 (1.021,1.030)	1.029 (1.025,1.034)
lag 11	1.025 (1.021,1.03)	1.025 (1.021,1.030)	1.022 (1.018,1.027)	1.027 (1.022,1.031)
lag 12	1.023 (1.018,1.027)	1.023 (1.018,1.027)	1.020 (1.015,1.025)	1.024 (1.020,1.029)
lag 13	1.020 (1.016,1.025)	1.020 (1.016,1.025)	1.018 (1.013,1.022)	1.022 (1.017,1.027)
lag 14	1.018 (1.013,1.023)	1.018 (1.014,1.023)	1.016 (1.011,1.021)	1.020 (1.015,1.025)
lag 15	1.016 (1.012,1.021)	1.016 (1.012,1.021)	1.014 (1.009,1.019)	1.018 (1.014,1.023)
lag 16	1.014 (1.010,1.019)	1.015 (1.010,1.019)	1.012 (1.008,1.017)	1.017 (1.012,1.021)
lag 17	1.013 (1.008,1.017)	1.013 (1.009,1.018)	1.011 (1.006,1.016)	1.015 (1.011,1.002)
lag 18	1.011 (1.007,1.016)	1.012 (1.007,1.016)	1.010 (1.005,1.014)	1.014 (1.009,1.018)
lag 19	1.010 (1.006,1.014)	1.011 (1.006,1.015)	1.009 (1.004,1.013)	1.012 (1.008,1.017)
lag 20	1.009 (1.005,1.013)	1.009 (1.005,1.013)	1.008 (1.003,1.012)	1.011 (1.007,1.015)
lag 21	1.008 (1.004,1.012)	1.008 (1.005,1.012)	1.007 (1.003,1.011)	1.010 (1.006,1.014)
lag 22	1.007 (1.004,1.011)	1.008 (1.004,1.011)	1.006 (1.002,1.01)	1.009 (1.006,1.013)
lag 23	1.007 (1.003,1.010)	1.007 (1.003,1.011)	1.006 (1.002,1.01)	1.009 (1.005,1.013)
lag 24	1.006 (1.002,1.010)	1.006 (1.002,1.01)	1.005 (1.001,1.009)	1.008 (1.004,1.012)
lag 25	1.005 (1.001,1.010)	1.005 (1.001,1.01)	1.005 (1.000,1.009)	1.007 (1.003,1.012)
lag 26	1.005 (1.000,1.010)	1.005 (1.000,1.010)	1.004 (0.999,1.010)	1.007 (1.001,1.012)
lag 27	1.004 (0.999,1.010)	1.004 (0.999,1.010)	1.004 (0.998,1.010)	1.006 (1.000,1.012)
lag 28	1.004 (0.998,1.010)	1.004 (0.997,1.01)	1.004 (0.997,1.010)	1.005 (0.999,1.012)
lag 29	1.004 (0.996,1.011)	1.003 (0.996,1.011)	1.004 (0.996,1.011)	1.005 (0.998,1.012)
lag 30	1.003 (0.995,1.011)	1.003 (0.995,1.011)	1.003 (0.995,1.012)	1.004 (0.996,1.013)

Tabela 3.6: RR das temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 da temperatura (média ou *windchill*) ao longo do lag.

No que respeita aos riscos relativos cumulativos, o modelo que apresenta um maior valor é o que considera a temperatura *windchill* conforme se pode verificar na tabela 3.7. Na tabela são apresentados os intervalos de confiança a 95%.

	Tmedia	TmediaVento	TmediaHumidade	Windchill
RR Acumulado	1.6 (1.5,1.8)	1.6 (1.5,1.8)	1.5 (1.4,1.7)	1.8 (1.7,2)

Tabela 3.7: Riscos relativos acumulados em cada um dos modelos relativos à mortalidade por todas as causas.

Para testar os quatro modelos encontrados, para descrever a mortalidade por todas as causas, foram construídos gráficos de séries temporais originais sobrepostas com os valores estimados por cada um dos modelos. Os gráficos apresentam os ajustes para as datas compreendidas entre 1 de novembro e 31 de março para cada uma das épocas. O gráfico 3.55 mostra a série da mortalidade por todas as causas em pormenor para três épocas (2002/2003, 2004/2005 e 2011/2012).

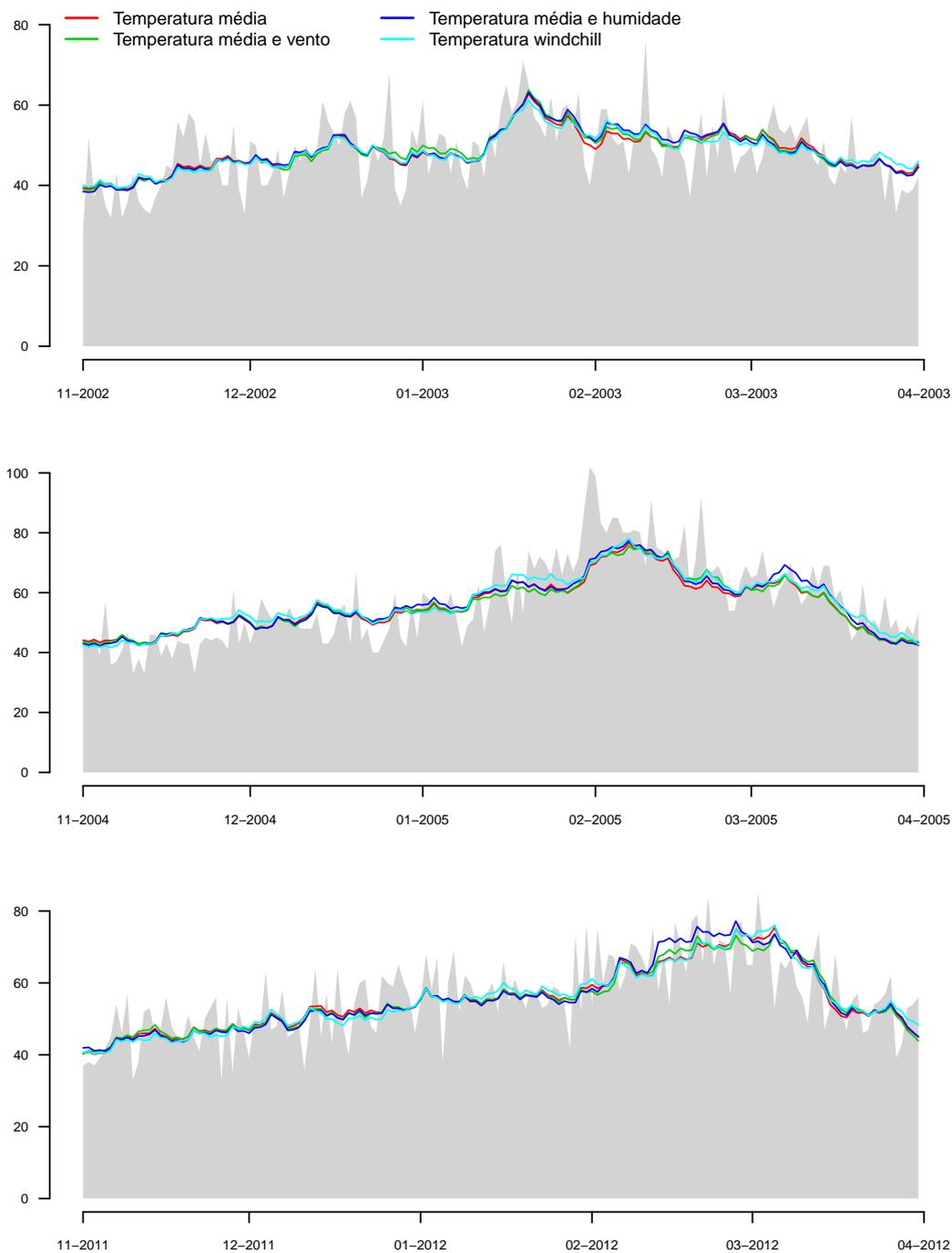


Figura 3.55: Detalhe dos ajustamentos nas épocas 2002-2003, 2004-2005 e 2011-2012 para a mortalidade por todas as causas.

### 3.4.2 Mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório

O sumário detalhado do ajustamento (com apresentação do código R) dos modelos considerados para a mortalidade por todas as causas é apresentado no anexo B.2 da página 106. No mesmo anexo é não só apresentado o código do R, como também as estimativas dos parâmetros dos diversos modelos, e os respectivos *p-values*. Encontra-se também neste anexo, uma breve análise aos resíduos dos modelos para verificar que as hipóteses subjacentes aos modelos não são violadas e, portanto, todos os modelos que vão ser comparados na secção, se ajustam aos dados.

Pela análise, os modelos parecem comportar-se de forma muito semelhante, pelo que para comparação destes foi criada a tabela 3.8 que resume algumas medidas concretas. Na primeira parte encontra-se um resumo da forma como as covariáveis foram consideradas em cada um dos modelos. Na segunda parte apresenta-se o número de parâmetros do modelo final estimado e a dispersão que permite quantificar até que ponto há sobre-dispersão. Na terceira parte são apresentadas medidas que permitem a avaliação da qualidade do ajustamento (QAIC e QBIC) e das estimativas (RMSE e MAE) do modelo.

A figura 3.56 apresenta, para os quatro modelos, as curvas *lag*-resposta para as temperaturas médias que correspondem ao percentil 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média (respectivamente -2, 0, 3, 5, e 24°C) e da série da temperatura *windchill* (respectivamente -2, 3, 20, e 24°C). Os gráficos mostram a evolução do RR de uma determinada temperatura ao longo do *lag*.

A análise isolada de cada modelo não parece dar grande informação, pelo que foi construído um gráfico com os efeitos da temperatura (média e *windchill*) específicos para cada um dos quatro modelos. Como a temperatura média não corresponde ao mesmo valor em temperatura *windchill*, e para uma melhor comparação de resultados será utilizado o percentil 0.01 de cada uma das séries. Essa representação é apresentada na figura 3.57.

O modelo que reconhece um maior efeito da temperatura extrema baixa é o que considera apenas a temperatura *windchill* (RR=1.048) logo seguido pelo que considera apenas a temperatura média (RR=1.048). No decorrer de todo o período o modelo que considera a temperatura *windchill* apresenta sempre riscos relativos superiores aos dos outros modelos. A tabela 3.9 apresenta estes resultados em pormenor, com os res-

Tabela 3.8: Resultado dos modelos seleccionados para a mortalidade por doenças do aparelho circulatório e respiratório.

	<i>Tmedia</i>	<i>TmediaVento</i>	<i>TmediaHumidade</i>	<i>windchill</i>
temperatura	lin	lin	lin	lin
<i>lag</i>	ns(4)	ns(4)	ns(4)	ns(4)
vento	–	lin	–	–
<i>lag</i>	–	lin	–	–
humidade	–	–	thr duplo	–
<i>lag</i>	–	–	lin	–
WC	–	–	–	lin
<i>lag</i>	–	–	–	ns(4)
Gripe	thr	thr	thr	thr
<i>lag</i>	ns(3)	ns(3)	ns(3)	ns(3)
Parâmetros	24	26	28	24
Dispersão	1.13	1.12	1.11	1.12
QAIC	9660.08	9647.9	9638.82	9640.06
QBIC	9809.55	9808.72	9810.43	9787.78
RMSE	5.68	5.64	5.62	5.64
MAE	4.49	4.47	4.46	4.46

pectivos intervalos de confiança a 95% sendo possível verificar a significância dos riscos relativos a partir do lag 2 e até entre o lag 28 e 30.

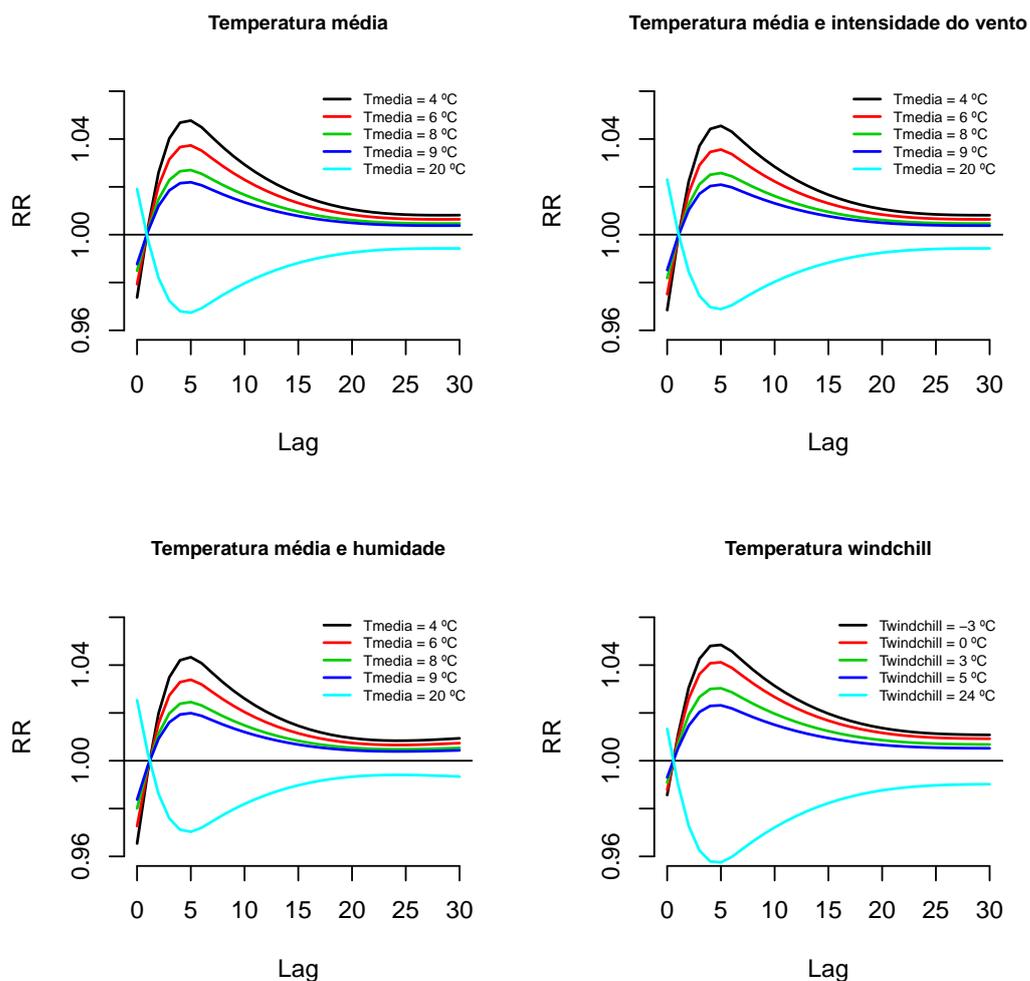


Figura 3.56: Gráficos com curvas lag-resposta para as temperaturas correspondentes aos percentis 0.1, 1, 5, 10 e 99.9 da distribuição da série de temperatura média ou temperatura *windchill* para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório. A referência é o Percentil 50 das séries.

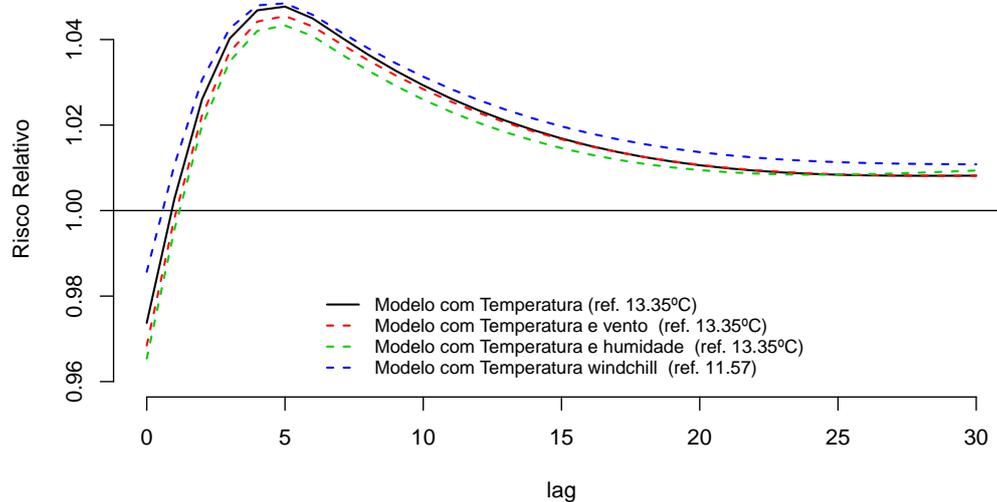


Figura 3.57: Gráfico com curvas *lag*-resposta para as temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 das séries de temperaturas (média ou *windchill*), tendo como referência o seu Percentil 50 para a mortalidade por doenças do aparelho circulatório e respiratório.

	Temperatura (ref. 13.35°C)	Temperatura e vento (ref. 13.35°C)	Temperatura e humidade (ref. 13.35°C)	Temperatura windchill (ref. 11.57)
lag 0	0.974 (0.949,1.000)	0.968 (0.943,0.994)	0.965 (0.940,0.991)	0.986 (0.961,1.011)
lag 1	1.003 (0.988,1.018)	0.998 (0.983,1.013)	0.996 (0.980,1.011)	1.011 (0.996,1.026)
lag 2	1.026 (1.017,1.035)	1.022 (1.013,1.031)	1.020 (1.010,1.030)	1.031 (1.021,1.040)
lag 3	1.040 (1.031,1.049)	1.037 (1.028,1.046)	1.035 (1.025,1.044)	1.043 (1.033,1.052)
lag 4	1.047 (1.037,1.057)	1.044 (1.034,1.054)	1.042 (1.032,1.053)	1.048 (1.038,1.058)
lag 5	1.048 (1.038,1.058)	1.045 (1.036,1.056)	1.043 (1.033,1.054)	1.048 (1.039,1.059)
lag 6	1.045 (1.036,1.054)	1.043 (1.034,1.052)	1.041 (1.032,1.050)	1.046 (1.037,1.055)
lag 7	1.041 (1.033,1.048)	1.039 (1.032,1.047)	1.037 (1.029,1.044)	1.042 (1.034,1.049)
lag 8	1.036 (1.030,1.043)	1.035 (1.029,1.042)	1.033 (1.026,1.039)	1.038 (1.032,1.044)
lag 9	1.033 (1.027,1.039)	1.032 (1.026,1.038)	1.029 (1.023,1.035)	1.034 (1.029,1.040)
lag 10	1.029 (1.024,1.035)	1.028 (1.023,1.034)	1.026 (1.020,1.032)	1.031 (1.026,1.037)
lag 11	1.026 (1.020,1.032)	1.025 (1.020,1.031)	1.023 (1.017,1.029)	1.028 (1.023,1.034)
lag 12	1.023 (1.018,1.029)	1.023 (1.017,1.029)	1.021 (1.014,1.027)	1.026 (1.020,1.032)
lag 13	1.021 (1.015,1.027)	1.021 (1.014,1.027)	1.018 (1.012,1.025)	1.024 (1.017,1.03)
lag 14	1.019 (1.013,1.025)	1.018 (1.012,1.025)	1.016 (1.010,1.023)	1.022 (1.015,1.028)
lag 15	1.017 (1.011,1.023)	1.017 (1.010,1.023)	1.015 (1.008,1.021)	1.020 (1.013,1.026)
lag 16	1.015 (1.009,1.021)	1.015 (1.009,1.021)	1.013 (1.007,1.020)	1.018 (1.012,1.024)
lag 17	1.014 (1.008,1.020)	1.014 (1.008,1.020)	1.012 (1.006,1.018)	1.017 (1.011,1.023)
lag 18	1.013 (1.007,1.018)	1.013 (1.007,1.018)	1.011 (1.005,1.017)	1.016 (1.010,1.021)
lag 19	1.011 (1.006,1.017)	1.012 (1.006,1.017)	1.010 (1.004,1.016)	1.015 (1.009,1.020)
lag 20	1.011 (1.005,1.016)	1.011 (1.005,1.016)	1.009 (1.004,1.015)	1.014 (1.008,1.019)
lag 21	1.010 (1.005,1.015)	1.010 (1.005,1.015)	1.009 (1.003,1.015)	1.013 (1.008,1.018)
lag 22	1.009 (1.004,1.014)	1.009 (1.004,1.015)	1.009 (1.003,1.014)	1.012 (1.007,1.018)
lag 23	1.009 (1.004,1.014)	1.009 (1.004,1.014)	1.008 (1.003,1.014)	1.012 (1.007,1.017)
lag 24	1.009 (1.003,1.014)	1.009 (1.003,1.014)	1.008 (1.003,1.014)	1.012 (1.006,1.017)
lag 25	1.008 (1.002,1.014)	1.008 (1.002,1.014)	1.008 (1.002,1.015)	1.011 (1.005,1.018)
lag 26	1.008 (1.002,1.015)	1.008 (1.002,1.015)	1.008 (1.002,1.016)	1.011 (1.004,1.018)
lag 27	1.008 (1.001,1.016)	1.008 (1.001,1.016)	1.009 (1.001,1.017)	1.011 (1.003,1.019)
lag 28	1.008 (1.000,1.017)	1.008 (1.000,1.017)	1.009 (1.000,1.018)	1.011 (1.002,1.020)
lag 29	1.008 (0.998,1.018)	1.008 (0.999,1.018)	1.009 (0.999,1.019)	1.011 (1.001,1.021)
lag 30	1.008 (0.997,1.019)	1.008 (0.997,1.019)	1.009 (0.998,1.020)	1.011 (1.000,1.022)

Tabela 3.9: RR das temperaturas correspondentes ao Percentil 0.01 da temperatura (média ou *windchill*) ao longo do lag.

No que respeita aos riscos relativos cumulativos, o modelo que apresenta uma maior valor é o que considera a temperatura *windchill* conforme se pode verificar na tabela resumo apresentada na tabela 3.10.

	Tmedia	TmediaVento	TmediaHumidade	Windchill
RR Acumulado	1.8 (1.6,2)	1.7 (1.5,1.9)	1.6 (1.4,1.9)	2 (1.8,2.3)

Tabela 3.10: Riscos relativos acumulados em cada um dos modelos relativos à mortalidade por doenças das arelhos circulatório e respiratório.

Para testar os quatros modelos encontrados para descrever a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório foram ainda construídos gráficos das séries temporais sobreposta com os valores estimados por cada um dos modelos. Como usamos sempre um lag de 30 dias, os gráficos apresentam informação apenas para o período compreendidas entre 1 de novembro e 31 de março para cada uma das épocas. O gráfico 3.58 apresenta a série de mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório em duas épocas específicas (2004/2005 e 2011/2012).

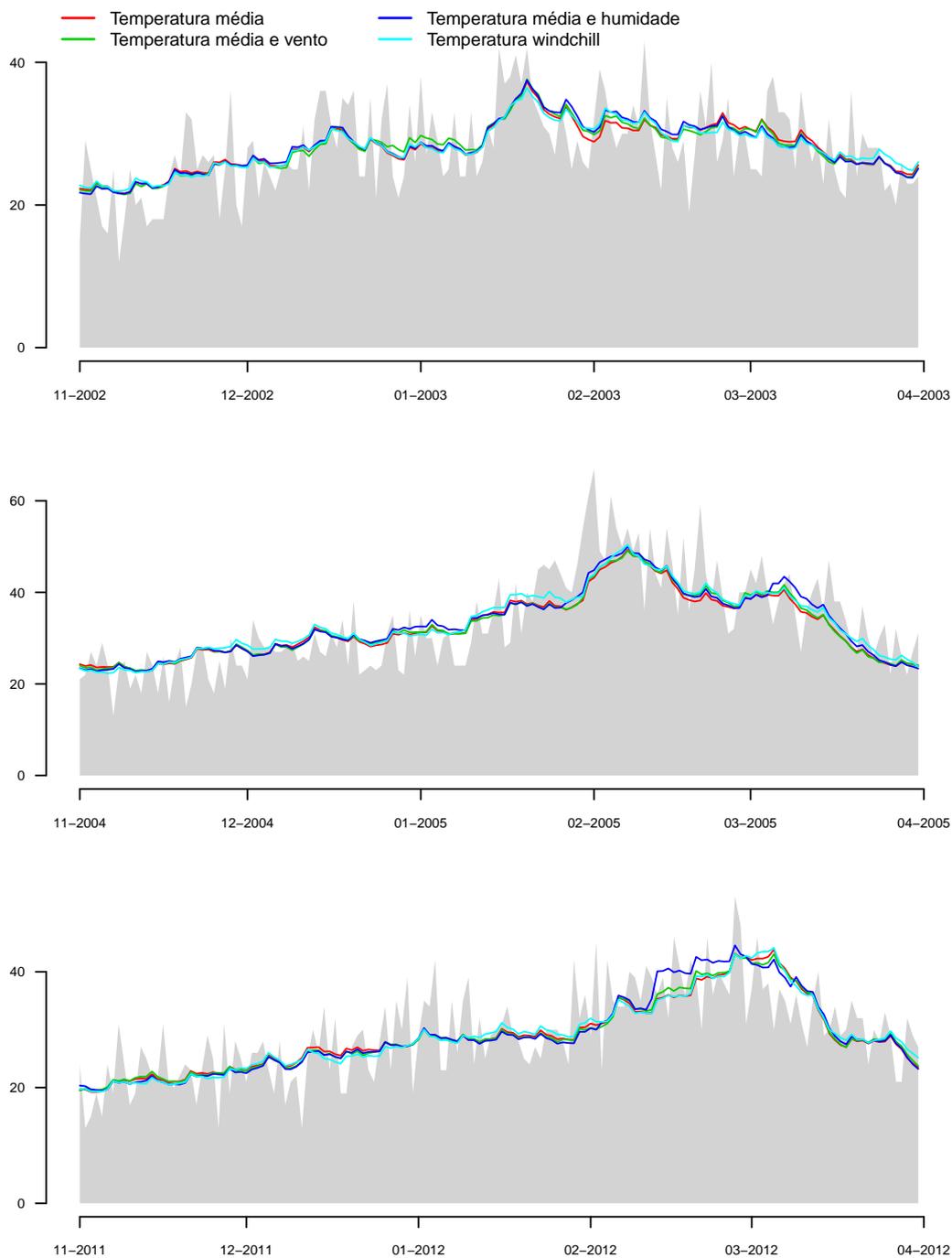


Figura 3.58: Detalhe dos ajustamentos nas épocas 2002-2003, 2004-2005 e 2011-2012 para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório.

## 4. Discussão e Conclusões

Portugal é dos países europeus com maior taxa de mortalidade no inverno tendo uma das maiores variações sazonais [54], e a mortalidade no distrito de Lisboa, tal como esperado, apresenta também, sazonalidade, sendo superior no período de inverno, comparativamente ao verão.

O projeto FRIESA, financiado pela FCT, desenvolveu modelos para estimar os efeitos do frio na mortalidade em Lisboa, no período de inverno, considerando a temperatura mínima como variável meteorológica explicativa.

Neste trabalho, como contributo para o projeto FRIESA, foram estudados os efeitos das temperaturas no risco de morrer, por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, na população residente no distrito de Lisboa entre 2002 e 2012, no período de inverno (novembro a março).

Pela determinação das correlações cruzadas entre a mortalidade por todas as causas e por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, no período de inverno, e as variáveis meteorológicas, verificou-se que as temperaturas mínima, média, máxima e *windchill* apresentam correlações negativas estatisticamente significativas, ou seja, que uma diminuição da variável meteorológica leva a um aumento na mortalidade e vice-versa, ou seja, um aumento da variável meteorológica conduz a uma diminuição na mortalidade. O efeito destas variáveis é significativo entre o segundo e o nono dia após ocorrerem, não sendo portanto imediato.

Os estudos realizados no presente trabalho permitem concluir que as variáveis meteorológicas que apresentam maior correlação com a mortalidade por todas as causas são as temperaturas média e *windchill* (-0.150), respetivamente no *lag* 7 e 3. Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório as maiores correlações ocorrem com as variáveis relativas às temperaturas mínima e média (-0.129) no *lag* 7, seguidas da temperatura *windchill* (-0.121) no *lag* 4. Com base nestes resultados,

decidiu-se utilizar a variável temperatura média como explicativa das mortalidades diárias em estudo em vez das temperaturas mínima e máxima. No caso da mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, tendo em conta que o valor da correlação cruzada era igual para temperatura mínima e média, justifica-se a seleção da temperatura média como variável explicativa para ser concordante com a análise da mortalidade por todas as causas, e pelo facto de querer contribuir para o sistema de vigilância e alerta FRIESA que se encontra em fase piloto, e que usa como variável meteorológica explicativa a temperatura mínima. Esta seleção é consolidada pelo facto de alguns autores defenderem que a temperatura média tem um desempenho superior à da temperatura mínima e máxima [55, 13, 56] quando usada como variável explicativa da mortalidade. Estudos recentes, também com aplicação de *DLNM*, ajustaram modelos para cada combinação de variáveis meteorológicas (temperatura mínima, média e máxima) e mortalidade concluindo que a temperatura média era o melhor preditor para todas as variáveis resposta em estudo [13, 57].

A humidade e a taxa de incidência de síndrome gripal apresentam, por oposição, uma correlação positiva estatisticamente significativa com a mortalidade: a humidade apenas no próprio dia e no seguinte; e a gripe até ao quinto dia, voltando a ser significativa do décimo ao vigésimo dia. Isto significa que se espera um aumento da mortalidade simultaneamente com o aumento da taxa de incidência de síndrome gripal, situação que já se encontra bem descrita na literatura [58, 40].

De notar que os valores das correlações entre as variáveis meteorológicas consideradas e a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório são mais baixas do que com a mortalidade por todas as causas, mas a estrutura de dependência é similar.

Dado que se comprova que os efeitos das temperaturas na mortalidade são desfasados no tempo, são necessários modelos estatísticos que sejam flexíveis o suficiente para descrever a dimensão adicional do desfasamento como os Modelos lineares e não lineares de desfasamento distribuído *DLNM*. Estes modelos conseguem descrever simultaneamente a relação de exposição-resposta e o efeito desfasado.

A representação gráfica da relação entre a mortalidade diária e a temperatura parece ir de encontro ao descrito na literatura [47], aproximando-se da forma *U* ou *V*, mas faltando a subida na mortalidade, conhecida nas temperaturas mais elevadas, que não são verificadas no período de inverno em estudo. A forma da relação, exclusivamente no inverno, entre a mortalidade diária e a temperatura é portanto de difícil interpretação pelo que se estudaram diversas funções, nomeadamente a linear, um polinómio de grau

2 e um *natural splines* com 2 a 5 graus de liberdade, para ajustamento de modelos *DLNM* para descrever a mortalidade.

Como não existem critérios para a definição do *lag* [50] e o mais comumente encontrado na literatura para associações entre temperatura e mortalidade foi *lag* 30 [47, 51, 50] optou-se pela utilização de *lag*=30 neste trabalho. Há estudos que evidenciam que o uso de *lags* máximos curtos não conseguem captar todos os efeitos da mortalidade relacionada com a temperatura pelo que se devem usar *lags* mais prolongados [59], enquanto outros defendem o uso de *lags* mais curtos para isolar os efeitos do frio [60].

Para todas as combinações testadas, dentro de cada conjunto de variáveis explicativas, a seleção do modelo considerado mais adequado foi efetuada tendo em conta o QAIC e QBIC. Como ainda não existem referências relativamente à performance destes critérios no contexto dos modelos *DLNM*, em caso de discordância entre as diversas medidas estimadas o Princípio da Parcimónia foi o adotado. Esta metodologia já foi seguida por outros autores em modelos *DLNM* aplicados à relação entre variáveis meteorológicas e a mortalidade [47]. Em todos as combinações de variáveis explicativas foi selecionado o modelo com menor QBIC uma vez este modelo usa menos graus de liberdade para descrever o efeito global.

Em contextos distintos de *DLNM*, pelo menos um autor mostrou que o desempenho do critério de Akaike é inferior ao critério Bayesiano [61, 62] no estudo de séries temporais, o que reforça a opção tomada de seleção do modelo com menor QBIC aquando do estudo das melhores funções descritoras das relações entre as variáveis explicativas e as variáveis resposta.

Após o ajustamento dos diferentes modelos verificou-se que para descrever a mortalidade a estrutura mais adequada das covariáveis é a seguinte: a temperatura, quer média quer *windchill*, representada por uma uma função linear centrada no seu Percentil 50 (13.35°C na temperatura média e 11.57°C na temperatura *windchill*), com *lags* descritos por um *natural splines* com 4 graus de liberdade com 4 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados nos limites das séries de temperatura; a intensidade do vento apresenta uma relação linear com a mortalidade, tendo sido apenas testada qual a função que melhor se adapta a desfasamentos nos seus valores: *lag* linear; quanto à humidade, estabeleceu-se à partida que esta teria efeitos nulos quando se encontrasse entre 40 e 60%, sendo a sua relação com a mortalidade considerada como linear fora deste intervalo e o seu desfasamento foi representado por um *lag* linear.

A taxa de incidência de síndrome gripal (SG), sendo um indicador semanal, foi transformado em diário, assumindo cada dia da semana o valor da taxa provisória estimada para essa mesma semana. A opção de usar a taxa provisória e não a definitiva, prende-se com o fato de que o, no futuro, que estará disponível em tempo real para introdução da variável no modelo, numa ótica de previsão, será a taxa provisória, uma vez que as taxas definitivas apenas são conhecidas no final da época. A função *threshold* assumindo que o efeito é nulo até 50/100000 habitantes e linear a partir daí, foi a que melhor descreveu a relação entre a taxa de incidência de síndrome gripal e a mortalidade em todos os modelos, assumindo também na maioria das estimações a estrutura de um *natural spline* como *lag* com 3 graus de liberdade e 3 nós igualmente espaçados, sendo os limites dos nós colocados em 50/100000 e no extremo superior da série da taxa de incidência. A exceção ocorre no modelo relativo à mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório que considera também a intensidade do vento, em que o *lag* é considerado como linear.

Um estudo recente concluiu que a temperatura de conforto em Portugal é das mais elevadas da Europa [59]. Portugal é mais sensível a alterações de temperatura do que países do norte da Europa, nomeadamente a Dinamarca, com aumentos na mortalidade quer em tempo frio ou quente com taxas de mortalidade bastante mais elevadas [59].

No mesmo sentido apontam os resultados deste trabalho que mostra existirem impactos quer nas temperaturas extremas baixas quer nas temperaturas mais altas, diferindo estas no *lag* com Riscos Relativos (RR) estatisticamente significativos. Na mortalidade por todas as causas, as temperaturas baixas começam a ter impactos 2 dias após a sua ocorrência, terminando entre os 23 e os 30 dias, enquanto que as temperaturas mais elevadas apresentam RR estatisticamente significativos apenas no próprio dia em que ocorrem. Por outro lado a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório mostra ser sensível a baixas temperaturas desde o segundo dia até mais do que 30 dias.

Os efeitos das temperaturas apresentaram-se ligeiramente superiores na mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, quando comparados com os efeitos na mortalidade por todas as causas. Estes resultados são concordantes com alguns descritos na literatura, uma vez que as doenças dos aparelhos circulatório e respiratório são as que sofrem maiores impactos com as temperaturas baixas. Resultados semelhantes foram encontrados num estudo na Escócia [51] que reporta a ocorrência de associações mais fortes entre as temperaturas extremas baixas e a mortalidade por

doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, do que com a mortalidade por todas as causas. De facto as temperaturas baixas tem sido associadas com um conjunto de parâmetros considerados como fatores de risco para doenças cardiovasculares, nomeadamente aumento da frequência cardíaca, da pressão arterial, da vasoconstrição periférica, das concentrações de fibrinogénio no plasma, dos níveis de colesterol no sangue, e da viscosidade das plaquetas [51, 57]. Os aumentos na mortalidade por doenças respiratórias, relacionados com o frio, são geralmente atribuídos à infeção cruzada devido ao aumento da aglomeração interior durante os meses mais frios e ao efeito negativo de exposição a baixas temperaturas sobre a resistência do sistema imunológico às infeções respiratórias [51].

As temperaturas médias elevadas no inverno apresentam, por vezes, riscos superiores aos das temperaturas baixas no próprio dia em que ocorrem, pelo que os seus efeitos não são de desconsiderar. Este resultado é consistente com outros estudos que mostraram que os efeitos das temperaturas altas são imediatos [51].

Como disse *George Box* "essencialmente todos os modelos são errados mas alguns são úteis". É assim necessário seleccionar o modelo mais adequado para descrever o fenómeno em estudo. De entre os 4 modelos finais estimados para cada uma das variáveis dependentes, foi selecionado o "melhor".

De entre as várias medidas determinadas e apresentadas nas secção 3.4 (tabelas 3.5 e 3.8) há considerações a fazer. Os modelos construídos foram ajustados para a sobre-dispersão pelo recurso à família *quasipoisson* na construção destes. Uma vez que todos os modelos selecionados apresentam valores para a dispersão superiores a 1, confirma-se a sobre dispersão acautelada. No geral, os modelos encontrados resultaram em ajustamentos muito similares.

Foram ainda calculadas diversas medidas que permitem a comparação entre os modelos, nomeadamente o *RMSE* e o *MAE* que avaliam a capacidade estimadora dos modelos. O *QAIC*, o *QBIC*, que avaliam a qualidade dos ajustamentos, já tinham sido calculados. O *QAIC* e o *QBIC* só podem ser usados para comparar modelos provenientes dos mesmos dados e ambos penalizam modelos com muitas variáveis sendo que, como já foi referido, são preferíveis modelos com menores valores de *QAIC* e *QBIC*. O *RMSE* e o *MAE* também têm restrições na sua aplicação pois só podem ser comparados entre modelos cujos erros sejam medidos na mesma unidade. Neste caso, sendo os erros de todos os modelos medidos na mesma unidade e sendo estas medidas de uso comum na área do clima, são uma boa opção para a seleção do melhor modelo, havendo referências

que defendem o uso do *MAE* em prol do *RMSE* [53]. Todas as medidas estimadas são orientados negativamente pelo que os melhores modelos são os que apresentam menores valores.

Sempre que as medidas sejam discordantes na comparação entre os diferentes modelos será adotado o princípio da parcimónia.

Para a mortalidade por todas as causas, o modelo que minimiza o *QAIC*, o *RMSE* e o *MAE* é o que considera a temperatura média e a humidade. O que minimiza o *QBIC* é o que considera a temperatura *windchill*. O primeiro necessita de 28 parâmetros para descrever a mortalidade por todas as causas enquanto os segundo apenas 24. O modelo com temperatura *windchill* é assim considerado o melhor modelo para a descrição da mortalidade por todas as causas. Este modelo é o que apresenta um maior risco relativo cumulativo (1.8 IC95%: 1.7,2.0) de entre os quatro modelos em comparação.

Para a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, as medidas também não conduzem ao mesmo modelo. O modelo que considera a temperatura média e a intensidade do vento é o que minimiza o *QAIC* e o *RMSE*. O modelo que minimiza o *QBIC* é o que considera a temperatura *windchill*. Este necessita de 24 parâmetros enquanto que o primeiro necessita de 28. Assim, o modelo que melhor parece descrever a mortalidade por doenças dos aparelhos circulatório e respiratório é o que considera como variáveis explicativas a temperatura *windchill* e a taxa de incidência de síndrome gripal. Este modelo é o que apresenta um maior risco relativo cumulativo (2.0 IC95%: 1.8,2.3) de entre os quatro modelos em comparação. Um estudo na Holanda concluiu que a variação diária da mortalidade, especialmente por doenças cardiovasculares, era melhor explicada pelo *windchill* quando comparado com a temperatura por si só [56].

Há portanto, diferenças na forma como as temperaturas extremas afetam a população, no geral, e a população mais vulnerável a doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, quer nos seus impactos, quer no tempo durante o qual os efeitos persistem. Os resultados deste trabalho sugerem que os efeitos sejam mais significativos nas doenças circulatórias e respiratórias.

Esta é uma primeira abordagem que se deparou com grandes dificuldades, nomeadamente na falta de estudos recentes nesta área para comparação. Diversos estudos existem que relacionam a mortalidade com variáveis meteorológicas, mas poucos fazem a comparação entre vários índices biometeorológicos para a descrição da mortalidade.

Há algumas limitações que importa serem explanadas neste âmbito: este é um estudo ecológico de séries temporais com as limitações inerentes a um estudo observacional (dados dos níveis de exposição médios ao invés de valores individuais reais; não há acesso aos dados individuais; dados de diferentes fontes, o que pode significar qualidade variável da informação); a variável usada para ajustar o efeito de confundimento do síndrome gripal é nacional, não sendo, portanto específica nem representativa do distrito de Lisboa, alvo deste estudo; a estação meteorológica usada para a série das temperaturas pode também não ser a mais representativa do distrito de Lisboa.

Estas conclusões podem ter implicações no desenvolvimento de estratégias de intervenção em frio extremo na época de inverno, e demonstram que a temperatura constitui um risco ambiental importante para a população com 65 e mais anos do distrito de Lisboa quer na sua generalidade, quer no grupo mais vulnerável a doenças dos aparelhos circulatórios e respiratórios.

## 4.1 Trabalhos futuros

Dado não existirem critérios para a definição do *lag* máximo a utilizar na modelação será de estudar a diminuição do *lag* na mortalidade por todas as causas, e, eventualmente, o seu aumento na mortalidade por doenças dos aparelhos circulatórios e respiratórios.

Neste trabalho, usou-se como temperatura de referência o percentil 50 da série temporal havendo alguns estudos que usam a temperatura correspondente à mortalidade mínima, pelo que essa alteração poderá ser desenvolvida no futuro [63].

A taxa de incidência de síndrome Gripal é apenas divulgada à quinta feira e relativa à semana anterior, pelo que em termos de previsão seria de uma mais valia a utilização de um indicador de base diária e local como, por exemplo, o registo de consultas nos cuidados de saúde primários sob a codificação R80 do ICPC2 (Síndrome Gripal da Classificação Internacional de Cuidados Primários – 2<sup>a</sup> Edição). Neste caso, poderemos deparar-nos com o problema de um curto histórico para modelar.

Por forma a complementar este trabalho poderiam ainda ser efetuadas validações cruzadas modelando 9 épocas de cada vez e aplicando o modelo à 10 época para testar a sua sensibilidade e especificidade - Métodos *Holdout*, *k-fold* ou *leave-one-out* [64, 65].



# Bibliografia

- [1] Environmental Canada Wind Chill Chart. Disponível em <http://www.micklehamweather.com/help/helpwindchill.php?height=700&width=560>.  
Acedido em: 2015-09-14.
- [2] M.J. Alcoforado. *L'influence du temps atmosphérique sur l'apparition de certains troubles respiratoires à Lisbonne*, book section 18, pages 147–156. John Libbey Eurotext, Paris, 1992.
- [3] J.M. Falcão, P.J. Nogueira, and E.J. Paixão. Efeitos do frio nas famílias portuguesas: estudo na amostra ECOS. Report, Instituto Nacional de Saúde Dr Ricardo Jorge, 2004.
- [4] Pablo Fdez-Arroyabe. Climate change, local weather and customized early warning systems based on biometeorological indexes. *Journal of Earth Science and Engineering*, 5:173–181, 2015.
- [5] J. Vasconcelos, E. Freire, R. Almendra, G. L. Silva, and P. Santana. The impact of winter cold weather on acute myocardial infarctions in portugal. *Environ Pollut*, 183:14–8, 2013.
- [6] F.D. Santos, Forbes, K., and R. Moita. *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*. Gradiva, Lisbon, 2002.
- [7] Core Writing Team, R.K Pachauri, and A. (eds.) Reisinger. IPCC, 2007: Climate change 2007: Synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Report, IPCC, 2008.
- [8] R. Basu and J. M. Samet. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev*, 24(2):190–202, 2002.

- [9] E. Kodra and A. R. Ganguly. Asymmetry of projected increases in extreme temperature distributions. *Sci Rep*, 4:5884, 2014.
- [10] Sílvia Antunes. *Caracterização da variabilidade climática interanual em Portugal Continental*. Mestrado em ciências geofísicas – área de especialização: Meteorologia, 1998.
- [11] WHO. How cold weather affects health. Disponível em <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/news/news/2013/02/how-cold-weather-affects-health>, 2014.
- [12] F. K. de’Donato, M. Leone, D. Noce, M. Davoli, and P. Michelozzi. The impact of the february 2012 cold spell on health in Italy using surveillance data. *PLoS One*, 8(4):e61720, 2013.
- [13] Jun Yang, Chun-Quan Ou, Yan Ding, Ying-Xue Zhou, and Ping-Yan Chen. Daily temperature and mortality: a study of distributed lag non-linear effect and effect modification in Guangzhou. *Environmental Health*, 11(1):63, 2012.
- [14] K. Laaidi, A. Economopoulou, V. Wagner, M. Pascal, P. Empereur-Bissonnet, A. Verrier, and P. Beaudeau. Cold spells and health: prevention and warning. *Public health*, 127(5):492–499, 2013.
- [15] A. Analitis, K. Katsouyanni, A. Biggeri, M. Baccini, B. Forsberg, L. Bisanti, U. Kirchmayer, F. Ballester, E. Cadum, P. G. Goodman, A. Hojs, J. Sunyer, P. Tiittanen, and P. Michelozzi. Effects of cold weather on mortality: results from 15 european cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol*, 168(12):1397–408, 2008.
- [16] X. Ye, R. Wolff, W. Yu, P. Vaneckova, X. Pan, and S. Tong. Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. *Environ Health Perspect*, 120(1):19–28, 2012.
- [17] S. Hajat, R. S. Kovats, and K. Lachowycz. Heat-related and cold-related deaths in england and wales: who is at risk? *Occup Environ Med*, 64(2):93–100, 2007.
- [18] Jan Kysely, Lucie Pokorna, Jan Kyncl, and Bohumir Kriz. Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Public Health*, 9(1):19, 2009.

- [19] M. M. Huynen, P. Martens, D. Schram, M. P. Weijnenberg, and A. E. Kunst. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the dutch population. *Environ Health Perspect*, 109(5):463–70, 2001.
- [20] B. A. Revich. The need for human health protection from climate changes. *Gig Sanit*, (5):60–4, 2009.
- [21] B. Revich and D. Shaposhnikov. The effects of particulate and ozone pollution on mortality in Moscow, Russia. *Air Qual Atmos Health*, 3(2):117–123, 2010.
- [22] B. G. Anderson and M. L. Bell. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*, 20(2):205–13, 2009.
- [23] Wen Yi and Albert P.C. Chan. Effects of temperature on mortality in Hong Kong: a time series analysis. *International Journal of Biometeorology*, 59(7):927–936, 2015.
- [24] Plano de contingência de temperaturas extremas adversas – módulo inverno. Disponível em <https://www.dgs.pt/ficheiros-de-upload-2013/plano-de-contingencia-de-temperaturas-extremas-adversas--modulo-inverno-pdf.aspx>, 2015.
- [25] Krzysztof Błażejczyk, Gerd Jendritzky, Peter Bröde, Dusan Fiala, George Havenith, Yoram Epstein Epstein, Agnieszka Psikuta, and Bernhard Kampmann. An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1):5–10, 2013.
- [26] P W Li and S T Chan. Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in hong kong. *Meteorological Applications*, 7(4):369–375, 2000.
- [27] Geert Groen. Wind chill equivalent temperature (WCET) climatology and scenarios for Schiphol airport, 2009, Disponível em <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR311.pdf>.
- [28] Kristie L. Ebi and Jordana K. Schmier. A stitch in time: Improving public health early warning systems for extreme weather events. *Epidemiologic Reviews*, 27(1):115–121, 2005.
- [29] Météo France, editor. *The Vigilance system in France , (continental and overseas)*.
-

- [30] System for announcing cold-wave alerts in R. Macedonia. Disponível em <http://www.studenibranovi.mk/en/>, 2014. Acedido em: 2015-09-14.
- [31] Cold-health action plan for prevention of health consequences for the population in the former yugoslav republic of macedonia.
- [32] K. Blazejczyk, Y. Epstein, G. Jendritzky, H. Staiger, and B. Tinz. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int J Biometeorol*, 56(3):515–35, 2012.
- [33] Carlos Pinheiro. Um frio de morrer ou a variação da mortalidade e clima nos distritos de viana do castelo e de faro. *Arquivos do Instituto Nacional de Saúde*, (15):61–112, 1990.
- [34] Jorge Marques. *Condições climáticas de inverno e a mortalidade diária do distrito de Lisboa*. Tese de mestrado em geografia apresentada à faculdade de letras da universidade de lisboa, 2008, 2007.
- [35] Jorge Marques and Sílvia Antunes. A perigosidade natural da temperatura do ar em portugal continental: a avaliação do risco na mortalidade. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, pages 49–61, 2009.
- [36] Vanda Guerreiro. *Mortalidade e Conforto bioclimático em Coimbra – estudo da vulnerabilidade das populações ao frio*. Tese de mestrado em geografia apresentada à faculdade de letras da universidade de coimbra, 2011.
- [37] Boletim climatológico sazonal - inverno 2011/12. Disponível em [http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20120312/pprBiMvaUwzTIRosqEcR/cli\\_20111201\\_20120229\\_pcl\\_sz\\_co\\_pt.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20120312/pprBiMvaUwzTIRosqEcR/cli_20111201_20120229_pcl_sz_co_pt.pdf), 2012.
- [38] Boletim climatológico sazonal - inverno 2014/15. Disponível em [http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20150414/NJqhrquhQSvRKDqQYmpn/cli\\_20150101\\_20150228\\_pcl\\_sz\\_co\\_pt.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20150414/NJqhrquhQSvRKDqQYmpn/cli_20150101_20150228_pcl_sz_co_pt.pdf), 2015.
- [39] A. Mazick, B. Gergonne, J. Nielsen, F. Wuillaume, M. J. Virtanen, A. Fouillet, H. Uphoff, T. Sideroglou, A. Paldy, A. Oza, B. Nunes, V. M. Flores-Segovia, C. Junker, S. A. McDonald, H. K. Green, R. Pebody, and K. Mølbak. Excess mortality among the elderly in 12 european countries, february and march 2012. *Euro Surveill*, 17(14), 2012.
- [40] K. Molbak, L. Espenhain, J. Nielsen, K. Tersago, N. Bossuyt, G. Denissov, A. Baburin, M. Virtanen, A. Fouillet, T. Sideroglou, K. Gkolfinopoulou, A. Paldy,

- J. Bobvos, L. van Asten, M. de Lange, B. Nunes, S. da Silva, A. Larrauri, I. L. Gomez, A. Tsoumanis, C. Junker, H. Green, R. Pebody, J. McMenamain, A. Reynolds, and A. Mazick. Excess mortality among the elderly in european countries, december 2014 to february 2015. *Euro Surveill*, 20(11), 2015.
- [41] WHO | public health surveillance. Disponível em [http://www.who.int/topics/public\\_health\\_surveillance/en/](http://www.who.int/topics/public_health_surveillance/en/), 2010-12-08 19:21:00 2010.
- [42] Paulo Nogueira and Eleonora Paixão. Models for mortality associated with heatwaves: update of the portuguese heat health warning system. *International Journal of Climatology*, 28(4):545–562, 2008.
- [43] PJ Nogueira, B Nunes, CM Dias, and JM Falcão. Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice Ícaro. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Volume Temático I:6, 1999.
- [44] L. Antunes, S.P Silva, J. Marques, B. Nunes, C.M. Dias, and S. Antunes. Modelação e previsão do efeito do frio extremo na saúde da população: a base para o desenvolvimento de um sistema de alerta em tempo real.
- [45] PHASE – public health adaptation strategies to extreme weather events. Disponível em <http://www.phaseclimatehealth.eu/publications/cold-spells>, 2014.
- [46] Actividade Gripal. Disponível em <http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/AreasCientificas/Epidemiologia/Paginas/ActividadeGripal.aspx>, 2014.
- [47] A. Gasparrini, B. Armstrong, and M. G. Kenward. Distributed lag non-linear models. *Statistics in Medicine*, 29(21):2224–2234, 2010.
- [48] R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Versão 3.3.0 disponível em <http://www.R-project.org>.
- [49] A. Gasparrini and B. Armstrong. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*, 22(1):68–73, 2011.
- [50] A Gasparrini. Distributed lag linear and non-linear models in R: The package dlnm. *Journal of Statistical Software*, 43(8):1–20, 2011.

- [51] M. Carder, R. McNamee, I. Beverland, R. Elton, G. R. Cohen, J. Boyd, and R. M. Agius. The lagged effect of cold temperature and wind chill on cardiorespiratory mortality in Scotland. *Occup Environ Med*, 62(10):702–10, 2005.
- [52] A. V. Arundel, E. M. Sterling, J. H. Biggin, and T. D. Sterling. Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environ Health Perspect*, 65:351–61, 1986.
- [53] Cort J. Willmott and Kenji Matsuura. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Glimete Research*, 30:79–82, 2005.
- [54] J D Healy. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 57(10):784–789, 2003.
- [55] Pavla Vaneckova, Gerard Neville, Vivienne Tippet, Peter Aitken, Gerard FitzGerald, and Shilu Tong. Do biometeorological indices improve modeling outcomes of heat-related mortality? *American Meteorological Society*, 2011.
- [56] A. E. Kunst, F. Groenhouf, and J. P. Mackenbach. The association between two windchill indices and daily mortality variation in the netherlands. *Am J Public Health*, 84(11):1738–42, 1994.
- [57] Yuming Guo, Kornwipa Punnasiri, and Shilu Tong. Effects of temperature on mortality in Chiang Mai city, Thailand: a time series study. *Environmental Health*, 11(1):36, 2012.
- [58] P. J. Nogueira, B. Nunes, A. Machado, E. Rodrigues, V. Gomez, L. Sousa, and J. M. Falcao. Early estimates of the excess mortality associated with the 2008-9 influenza season in portugal. *Euro Surveill*, 14(18), 2009.
- [59] Rachel Lowe, Joan Ballester, James Creswick, Jean-Marie Robine, François R. Herrmann, and Xavier Rodó. Evaluating the performance of a climate-driven mortality model during heat waves and cold spells in Europe. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(2):1279, 2015.
- [60] Cuicui Wang, Renjie Chen, Xingya Kuang, Xiaoli Duan, and Haidong Kan. Temperature and daily mortality in suzhou, china: A time series analysis. *Science of The Total Environment*, 466–467:985 – 990, 2014.

- [61] P.C. Emiliano, E. P. Veiga, M. J. F. Vivanco, and F. S. Menezes. Critérios de informação de Akaike versus Bayesiano: análise comparativa, 2010. Disponível em [<http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/Paulo%20C%C3%A9sar%20Emiliano.pdf>].
- [62] Paulo César Emiliano. *Critérios de Informação: Como eles se comportam em diferentes modelos?* Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária, 2013. Disponível em <http://repositorio.ufla.br/handle/1/1465>.
- [63] Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Masahiro Hashizume, Eric Lavigne, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Aurelio Tobias, Shilu Tong, Joacim Rocklöv, Bertil Forsberg, Michela Leone, Manuela De Sario, Michelle L. Bell, Yue-Liang Leon Guo, Chang-fu Wu, Haidong Kan, Seung-Muk Yi, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Yasushi Honda, Ho Kim, and Ben Armstrong. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991):369–375, 2015.
- [64] Paulo Martins Angel. Avaliação de modelos. Disponível em <http://www.inf.ufrgs.br/~alvares/CMP259DCBD/avaliacao.pdf>, 2015.
- [65] Validação cruzada. Disponível em [https://pt.wikipedia.org/wiki/Valida%C3%A7%C3%A3o\\_cruzada](https://pt.wikipedia.org/wiki/Valida%C3%A7%C3%A3o_cruzada), 2015.



# Apêndice A

## Índices Biometeorológicos

### A.1 UTCI - Índice Térmico Universal

O UTCI reflete uma preocupação na modelação do balanço energético pois considera os efeitos térmicos locais em todo o corpo, sendo independente das características pessoais do indivíduo (considera como referência a atividade de uma pessoa com uma velocidade de 4 Km/h). Na figura A.1 está representado o esquema de desenvolvimento do UTCI, tendo como base variáveis meteorológicas, um modelo de termo-regulação e um modelo de roupa adaptativo.

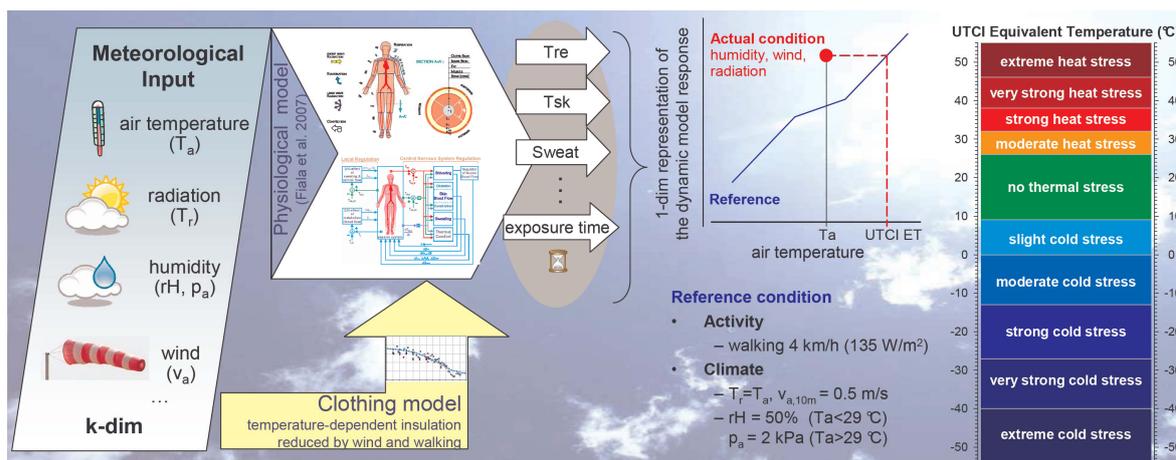


Figura A.1: Conceito climático do UTCI, calculado a partir de um modelo termo fisiológico e de um manequim térmico.

Retirado de <http://www.utci.org/>.

É calculado em função de uma regressão polinomial até à sexta ordem em temperatura,

velocidade do vento, humidade e temperatura média radiante [25].

## A.2 WSI - Índice de Stress

O WSI de um dia específico é obtido pelo cálculo da temperatura aparente e do desvio que essa temperatura aparente tem relativamente ao valor médio para o local [26].

Tem por base o cálculo do NET (*Net Effective Temperature*) e pode ser aplicável tanto em condições de calor como de frio. Os parâmetros que entram no cálculo do NET são a temperatura ( $t$  em  $^{\circ}\text{C}$ ), a humidade relativa ( $f$  em  $\%$ ) e a intensidade do vento ( $v$  em  $\text{m/s}$ ), e este é calculado através da seguinte equação:

$$NET = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014 \times f + \frac{1}{1,76 + 1,4 \times v^{0,75}}} - 0,29 \times t(1 - 0,01 \times f) \quad (\text{A.1})$$

O NET é consistente com a percepção humana comum e apresenta diversas vantagens:

1. é relativamente simples de calcular e de fácil interpretação. Um valor elevado positivo implica uma carga excepcionalmente elevada de calor, enquanto um valor negativo elevado representa uma grande perda de calor;
2. é aplicável tanto a situações de calor como de frio;
3. tem sensibilidade semelhante ao *Windchill* e à temperatura aparente, dois dos índices mais comumente usados para o tempo frio e quente, respetivamente;
4. tem alguma utilidade preditiva uma vez que as variáveis meteorológicas usadas no seu cálculo são rotineiramente previstas. Outros índices que envolvem radiação solar ou nebulosidade são mais difíceis de prever;
5. é compatível com a percepção comum:
  - em tempo quente, aumenta com um aumento da temperatura e/ou da humidade e diminui com o aumento da intensidade do vento;
  - em tempo frio, diminui com a diminuição da temperatura e com o aumento da humidade e/ou do vento.

O WSI é um índice (percentil) derivado do NET. Por exemplo, um WSI=99% significa que só 1% de dias de um determinado período em análise é que tiveram um NET superior, enquanto que um WSI=1% significa que só 1% dos dias tiveram um NET inferior. Valores extremos de WSI estão relacionados com valores de muito desconforto fisiológico e portanto o WSI pode ser usado como índice de risco.

Enquanto alguns estudos definem que um WSI de 1% é considerado como do stress, outros consideram que um WSI de 5% em alguns locais já representará uma ameaça para a saúde humana. Hong Kong tem estabelecido desde dezembro de 1997 os limites de 97,5% e 2,5% como limites de stress [26].



# Apêndice B

## Sumário dos modelos considerados

### B.1 Mortalidade por todas as causas

#### B.1.1 Modelo com Temperatura Média e Taxa de Incidência de Síndrome Gripal (SG)

Call:

```
glm(formula = GC ~ ns.temp + ns.gripe + ns(tempo, 4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(), data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.2722	-0.7460	-0.0349	0.6661	3.9361

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-8.891e+00	3.180e-01	-27.963	< 2e-16	***
ns.tempv1.l1	-6.212e-03	6.781e-04	-9.161	< 2e-16	***
ns.tempv1.l2	-2.201e-03	6.380e-04	-3.450	0.000576	***
ns.tempv1.l3	1.966e-03	1.120e-03	1.756	0.079299	.
ns.tempv1.l4	-1.780e-03	7.970e-04	-2.233	0.025686	*
ns.gripev1.l1	-3.252e-04	1.100e-04	-2.956	0.003163	**

ns.gripev1.12	4.256e-04	5.460e-05	7.795	1.20e-14	***
ns.gripev1.13	-9.650e-05	3.358e-05	-2.874	0.004115	**
ns(tempo, 4)1	-8.613e-02	2.002e-02	-4.302	1.80e-05	***
ns(tempo, 4)2	-1.236e-01	1.963e-02	-6.297	3.97e-10	***
ns(tempo, 4)3	-2.231e-01	4.672e-02	-4.775	1.97e-06	***
ns(tempo, 4)4	-1.478e-01	1.720e-02	-8.592	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	-1.937e-02	2.998e-01	-0.065	0.948496	
ns(doy, 6)2	7.249e-02	3.265e-01	0.222	0.824337	
ns(doy, 6)3	-8.611e-03	3.143e-01	-0.027	0.978148	
ns(doy, 6)4	-4.995e-03	2.203e-01	-0.023	0.981910	
ns(doy, 6)5	1.893e-01	6.257e-01	0.303	0.762252	
ns(doy, 6)6	-8.805e-02	1.143e-01	-0.771	0.441042	
as.factor(dow)2	-2.226e-02	1.393e-02	-1.598	0.110270	
as.factor(dow)3	-2.656e-02	1.395e-02	-1.905	0.057019	.
as.factor(dow)4	-5.176e-02	1.405e-02	-3.684	0.000238	***
as.factor(dow)5	-4.151e-02	1.400e-02	-2.965	0.003073	**
as.factor(dow)6	-5.184e-02	1.405e-02	-3.689	0.000233	***
as.factor(dow)7	-4.546e-02	1.403e-02	-3.241	0.001217	**

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.13015)

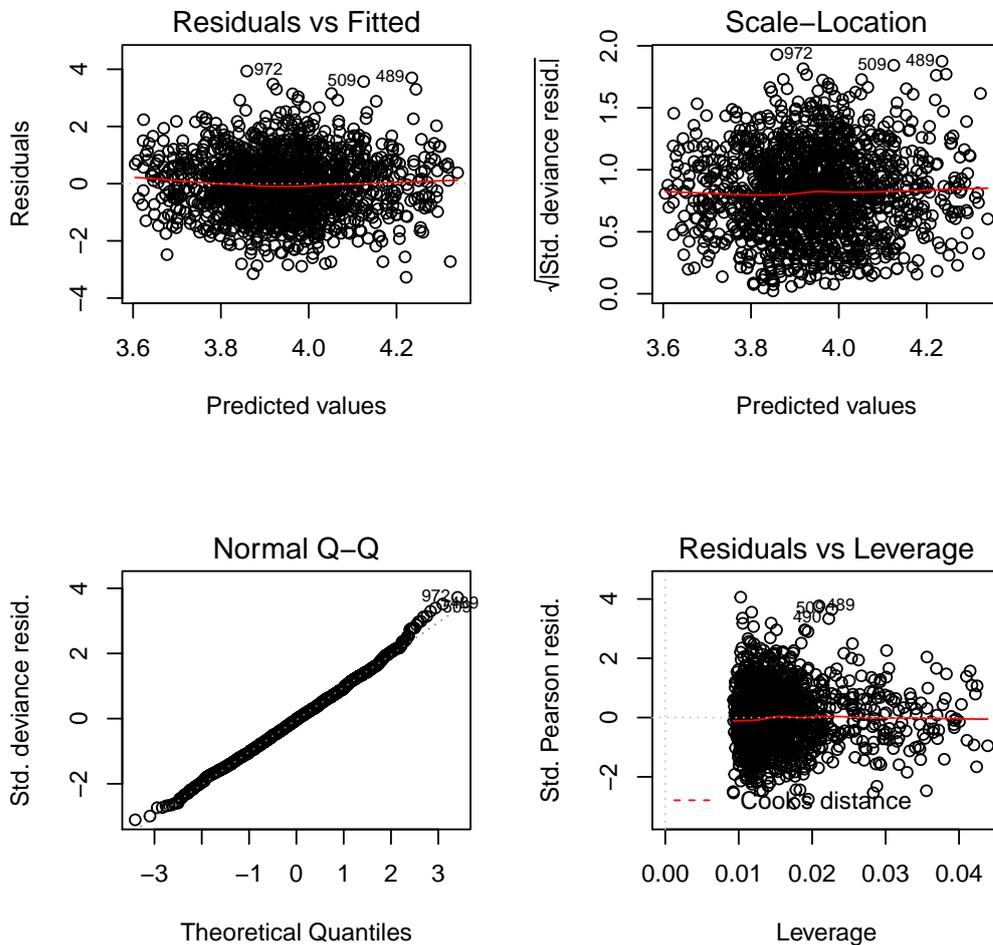
Null deviance: 3165.7 on 1529 degrees of freedom

Residual deviance: 1694.7 on 1506 degrees of freedom

(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



## B.1.2 Modelo com Temperatura Média, Intensidade do Vento e SG

Call:

```
glm(formula = GC ~ ns.temp + ns.vento + ns.gripe1 + ns(tempo,
  4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(),
  data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.2028	-0.7284	-0.0479	0.6651	3.8303

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-9.112e+00	3.195e-01	-28.516	< 2e-16	***
ns.tempv1.11	-6.097e-03	6.758e-04	-9.022	< 2e-16	***
ns.tempv1.12	-2.598e-03	6.359e-04	-4.086	4.63e-05	***
ns.tempv1.13	2.575e-03	1.121e-03	2.297	0.021751	*
ns.tempv1.14	-2.098e-03	7.977e-04	-2.630	0.008620	**
ns.ventov1.11	2.511e-03	5.967e-04	4.208	2.73e-05	***
ns.ventov1.12	-9.368e-05	3.289e-05	-2.848	0.004454	**
ns.gripelv1.11	2.140e-04	2.076e-05	10.309	< 2e-16	***
ns.gripelv1.12	-7.956e-06	1.317e-06	-6.042	1.92e-09	***
ns(tempo, 4)1	-6.845e-02	2.068e-02	-3.310	0.000955	***
ns(tempo, 4)2	-1.432e-01	2.073e-02	-6.908	7.22e-12	***
ns(tempo, 4)3	-2.167e-01	4.660e-02	-4.651	3.60e-06	***
ns(tempo, 4)4	-1.263e-01	1.810e-02	-6.977	4.50e-12	***
ns(doy, 6)1	1.054e-01	3.008e-01	0.350	0.726160	
ns(doy, 6)2	1.769e-01	3.277e-01	0.540	0.589362	
ns(doy, 6)3	1.215e-01	3.155e-01	0.385	0.700093	
ns(doy, 6)4	7.213e-02	2.208e-01	0.327	0.743983	
ns(doy, 6)5	3.910e-01	6.282e-01	0.622	0.533729	
ns(doy, 6)6	-6.120e-02	1.144e-01	-0.535	0.592738	
as.factor(dow)2	-2.249e-02	1.390e-02	-1.618	0.105850	
as.factor(dow)3	-2.715e-02	1.392e-02	-1.951	0.051210	.
as.factor(dow)4	-5.233e-02	1.402e-02	-3.733	0.000196	***
as.factor(dow)5	-4.255e-02	1.397e-02	-3.046	0.002363	**
as.factor(dow)6	-5.252e-02	1.402e-02	-3.746	0.000186	***
as.factor(dow)7	-4.559e-02	1.399e-02	-3.258	0.001148	**

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.124702)

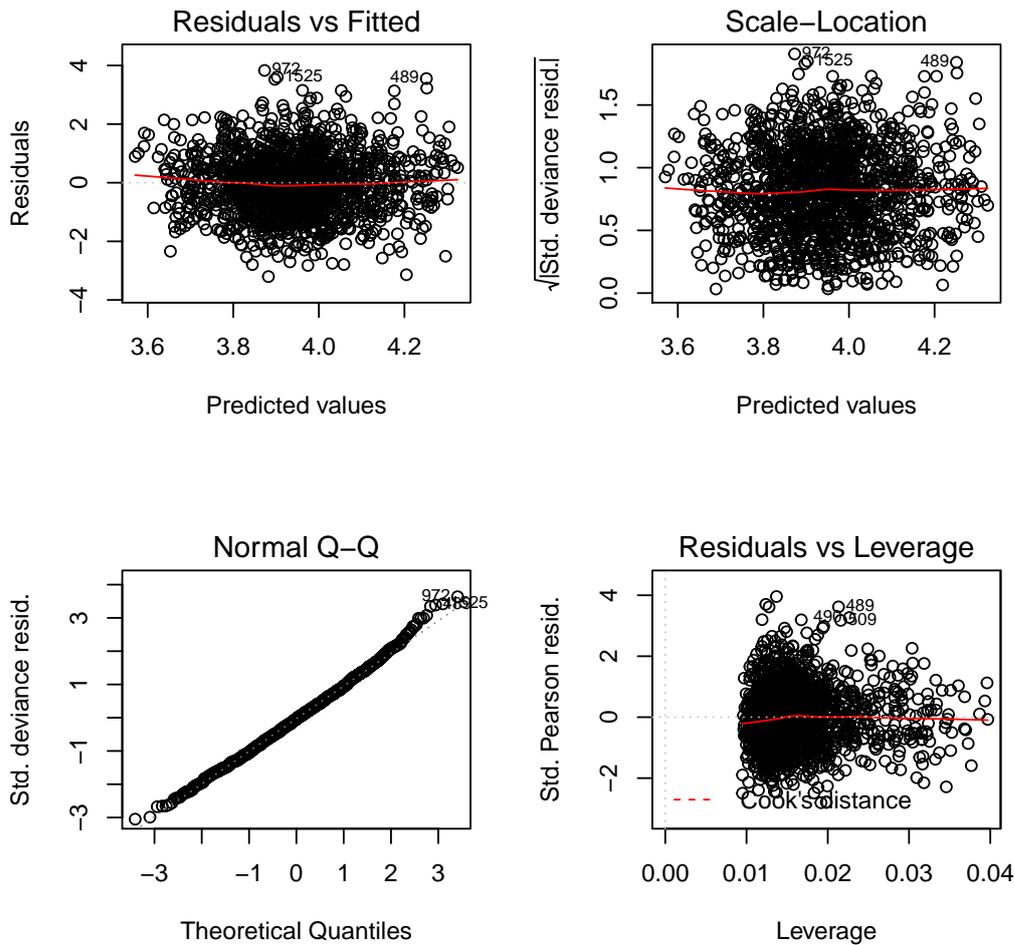
Null deviance: 3165.7 on 1529 degrees of freedom

Residual deviance: 1683.6 on 1505 degrees of freedom

(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



### B.1.3 Modelo com Temperatura Média, Humidade e SG

Call:

```
glm(formula = GC ~ ns.temp + ns.humidade + ns.gripe + ns(tempo, 4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(), data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-----	----	--------	----	-----

-3.1441 -0.7208 -0.0249 0.6529 3.6724

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-8.946e+00	3.221e-01	-27.769	< 2e-16	***
ns.tempv1.11	-5.900e-03	6.778e-04	-8.705	< 2e-16	***
ns.tempv1.12	-2.300e-03	6.497e-04	-3.540	0.000412	***
ns.tempv1.13	2.935e-03	1.140e-03	2.576	0.010090	*
ns.tempv1.14	-2.281e-03	8.122e-04	-2.809	0.005038	**
ns.humidadev1.11	6.730e-03	2.986e-03	2.254	0.024326	*
ns.humidadev2.11	-2.001e-04	7.030e-05	-2.847	0.004479	**
ns.humidadev1.12	-2.689e-04	1.448e-04	-1.857	0.063517	.
ns.humidadev2.12	5.645e-06	4.108e-06	1.374	0.169540	
ns.gripev1.11	-2.554e-04	1.125e-04	-2.271	0.023297	*
ns.gripev1.12	3.737e-04	5.776e-05	6.470	1.32e-10	***
ns.gripev1.13	-1.026e-04	3.349e-05	-3.062	0.002238	**
ns(tempo, 4)1	-1.076e-01	2.040e-02	-5.277	1.50e-07	***
ns(tempo, 4)2	-1.116e-01	1.976e-02	-5.645	1.97e-08	***
ns(tempo, 4)3	-2.281e-01	4.663e-02	-4.891	1.11e-06	***
ns(tempo, 4)4	-1.788e-01	1.811e-02	-9.874	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	1.196e-01	3.036e-01	0.394	0.693732	
ns(doy, 6)2	2.364e-01	3.309e-01	0.715	0.475008	
ns(doy, 6)3	1.576e-01	3.194e-01	0.493	0.621847	
ns(doy, 6)4	1.038e-01	2.237e-01	0.464	0.642640	
ns(doy, 6)5	3.716e-01	6.327e-01	0.587	0.557076	
ns(doy, 6)6	-4.085e-02	1.170e-01	-0.349	0.726999	
as.factor(dow)2	-2.215e-02	1.382e-02	-1.603	0.109109	
as.factor(dow)3	-2.644e-02	1.383e-02	-1.912	0.056115	.
as.factor(dow)4	-5.139e-02	1.394e-02	-3.687	0.000235	***
as.factor(dow)5	-4.137e-02	1.389e-02	-2.979	0.002937	**
as.factor(dow)6	-5.205e-02	1.394e-02	-3.735	0.000195	***
as.factor(dow)7	-4.552e-02	1.391e-02	-3.272	0.001091	**

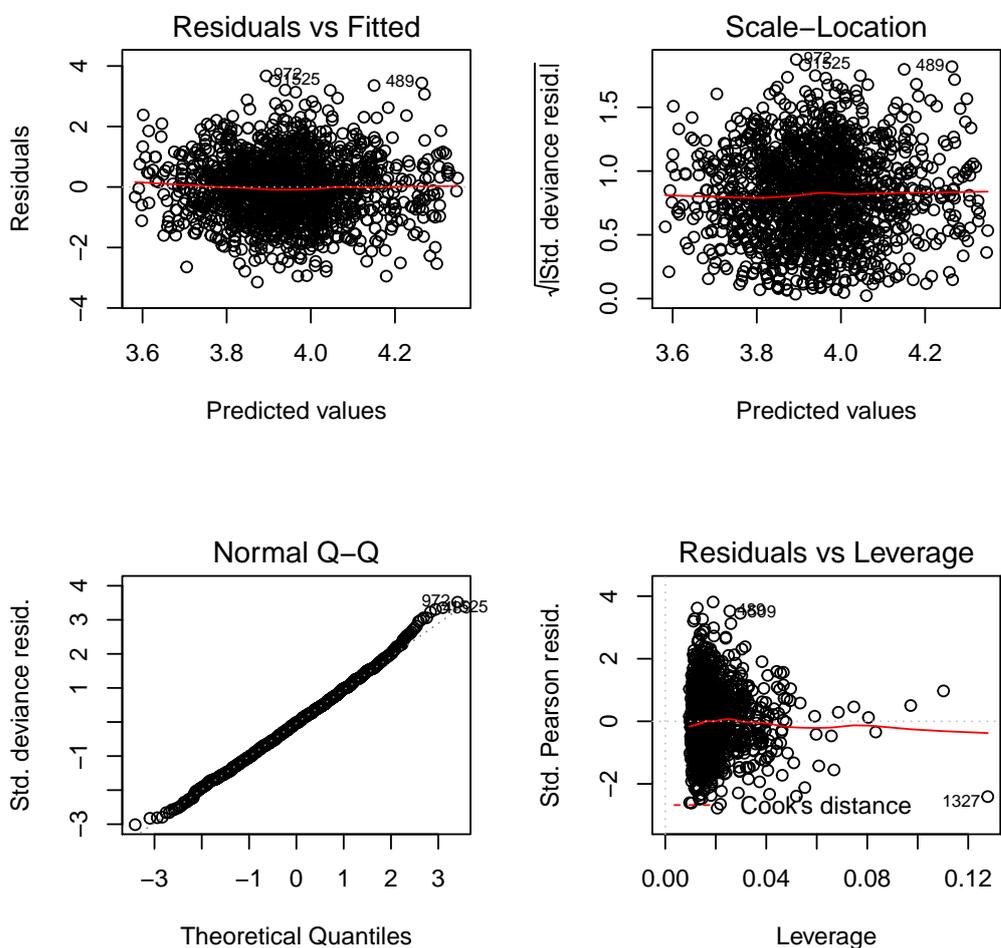
---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.111369)

Null deviance: 3165.7 on 1529 degrees of freedom  
Residual deviance: 1663.5 on 1502 degrees of freedom  
(300 observations deleted due to missingness)  
AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



#### B.1.4 Modelo com Temperatura *windchill* e SG

[1] "Modelo com Temperatura Windchill e SG"

Call:

```
glm(formula = GC ~ ns.WC + ns.gripe + ns(tempo, 4) + ns(doy,
  6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(),
  data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.1624	-0.7674	-0.0386	0.6561	3.5995

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-8.929e+00	3.164e-01	-28.217	< 2e-16	***
ns.WCv1.11	-4.062e-03	4.618e-04	-8.795	< 2e-16	***
ns.WCv1.12	-1.401e-03	4.485e-04	-3.124	0.001819	**
ns.WCv1.13	3.375e-04	7.564e-04	0.446	0.655524	
ns.WCv1.14	-8.507e-04	5.335e-04	-1.595	0.111018	
ns.gripev1.11	-3.019e-04	1.097e-04	-2.753	0.005980	**
ns.gripev1.12	4.100e-04	5.449e-05	7.524	9.07e-14	***
ns.gripev1.13	-8.173e-05	3.358e-05	-2.434	0.015044	*
ns(tempo, 4)1	-1.180e-01	2.045e-02	-5.772	9.48e-09	***
ns(tempo, 4)2	-1.239e-01	1.956e-02	-6.337	3.09e-10	***
ns(tempo, 4)3	-3.033e-01	4.876e-02	-6.220	6.42e-10	***
ns(tempo, 4)4	-1.623e-01	1.699e-02	-9.555	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	5.993e-02	2.983e-01	0.201	0.840774	
ns(doy, 6)2	1.137e-01	3.248e-01	0.350	0.726383	
ns(doy, 6)3	3.611e-02	3.126e-01	0.116	0.908047	
ns(doy, 6)4	2.866e-02	2.188e-01	0.131	0.895789	
ns(doy, 6)5	2.366e-01	6.233e-01	0.380	0.704320	
ns(doy, 6)6	-8.081e-02	1.128e-01	-0.716	0.473964	
as.factor(dow)2	-2.130e-02	1.389e-02	-1.534	0.125337	
as.factor(dow)3	-2.484e-02	1.390e-02	-1.787	0.074087	.
as.factor(dow)4	-4.968e-02	1.400e-02	-3.548	0.000400	***
as.factor(dow)5	-3.986e-02	1.395e-02	-2.857	0.004333	**
as.factor(dow)6	-5.136e-02	1.400e-02	-3.668	0.000253	***
as.factor(dow)7	-4.573e-02	1.398e-02	-3.270	0.001099	**

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.122788)

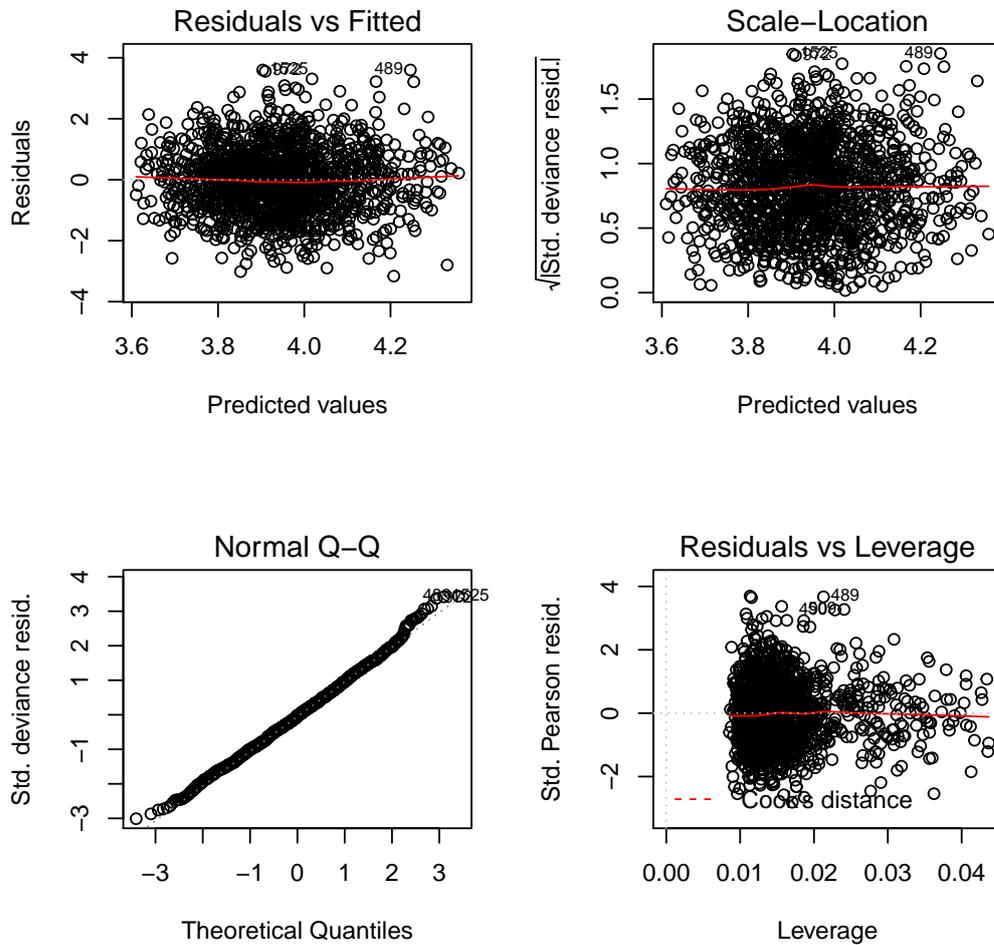
Null deviance: 3165.7 on 1529 degrees of freedom

Residual deviance: 1684.4 on 1506 degrees of freedom

(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



## B.2 Mortalidade por Doenças dos Aparelhos Circulatório e Respiratório

### B.2.1 Modelo com Temperatura Média e Taxa de Incidência de Síndrome Gripal (SG)

Call:

```
glm(formula = CircResp ~ ns.temp + ns.gripe + ns(tempo, 4) +  
     ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(),  
     data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.8273	-0.7372	-0.0639	0.6660	4.7459

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-8.996e+00	4.362e-01	-20.624	< 2e-16	***
ns.tempv1.11	-6.632e-03	9.090e-04	-7.297	4.75e-13	***
ns.tempv1.12	-1.725e-03	8.519e-04	-2.025	0.043086	*
ns.tempv1.13	1.156e-03	1.504e-03	0.769	0.442255	
ns.tempv1.14	-1.977e-03	1.070e-03	-1.847	0.064896	.
ns.gripev1.11	-5.164e-04	1.457e-04	-3.545	0.000405	***
ns.gripev1.12	6.241e-04	7.242e-05	8.618	< 2e-16	***
ns.gripev1.13	-6.975e-05	4.425e-05	-1.576	0.115208	
ns(tempo, 4)1	-1.455e-01	2.667e-02	-5.456	5.68e-08	***
ns(tempo, 4)2	-2.312e-01	2.650e-02	-8.726	< 2e-16	***
ns(tempo, 4)3	-4.275e-01	6.218e-02	-6.876	8.99e-12	***
ns(tempo, 4)4	-2.780e-01	2.335e-02	-11.907	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	-4.670e-01	4.118e-01	-1.134	0.256966	
ns(doy, 6)2	-3.180e-01	4.476e-01	-0.711	0.477478	
ns(doy, 6)3	-4.390e-01	4.313e-01	-1.018	0.308924	
ns(doy, 6)4	-2.595e-01	3.019e-01	-0.860	0.390178	
ns(doy, 6)5	-6.399e-01	8.586e-01	-0.745	0.456220	
ns(doy, 6)6	-2.468e-01	1.566e-01	-1.576	0.115309	

```
as.factor(dow)2 -2.382e-02  1.870e-02  -1.274  0.202803
as.factor(dow)3 -2.939e-02  1.872e-02  -1.570  0.116667
as.factor(dow)4 -5.297e-02  1.885e-02  -2.809  0.005026 **
as.factor(dow)5 -5.021e-02  1.882e-02  -2.667  0.007724 **
as.factor(dow)6 -5.609e-02  1.887e-02  -2.973  0.002997 **
as.factor(dow)7 -5.318e-02  1.885e-02  -2.821  0.004853 **
```

---

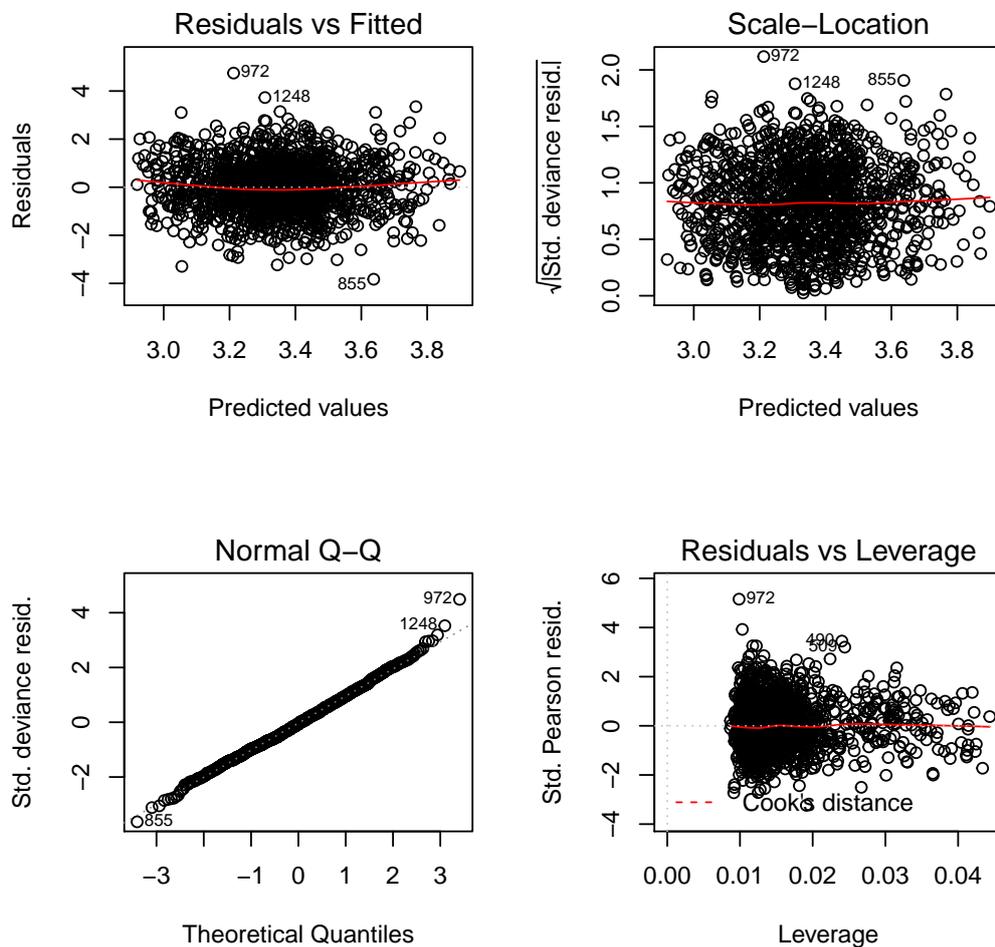
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.129894)

Null deviance: 3217.6 on 1529 degrees of freedom  
Residual deviance: 1695.3 on 1506 degrees of freedom  
(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



## B.2.2 Modelo com Temperatura Média, Intensidade do Vento e SG

Call:

```
glm(formula = CircResp ~ ns.temp + ns.vento + ns.gripe + ns(tempo,
  4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(),
  data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.7861	-0.7520	-0.0618	0.6636	4.6639

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-9.222e+00	4.391e-01	-21.002	< 2e-16	***
ns.tempv1.l1	-6.391e-03	9.064e-04	-7.051	2.70e-12	***
ns.tempv1.l2	-2.068e-03	8.529e-04	-2.425	0.015415	*
ns.tempv1.l3	1.791e-03	1.507e-03	1.188	0.234870	
ns.tempv1.l4	-2.334e-03	1.071e-03	-2.180	0.029425	*
ns.ventov1.l1	3.037e-03	8.128e-04	3.737	0.000193	***
ns.ventov1.l2	-1.194e-04	4.466e-05	-2.674	0.007579	**
ns.gripev1.l1	-4.250e-04	1.472e-04	-2.886	0.003957	**
ns.gripev1.l2	5.991e-04	7.254e-05	8.258	3.20e-16	***
ns.gripev1.l3	-1.020e-04	4.547e-05	-2.243	0.025022	*
ns(tempo, 4)1	-1.251e-01	2.763e-02	-4.528	6.41e-06	***
ns(tempo, 4)2	-2.562e-01	2.799e-02	-9.153	< 2e-16	***
ns(tempo, 4)3	-4.253e-01	6.201e-02	-6.858	1.02e-11	***
ns(tempo, 4)4	-2.557e-01	2.462e-02	-10.387	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	-3.452e-01	4.134e-01	-0.835	0.403908	
ns(doy, 6)2	-2.250e-01	4.496e-01	-0.500	0.616800	
ns(doy, 6)3	-3.133e-01	4.333e-01	-0.723	0.469708	
ns(doy, 6)4	-1.864e-01	3.028e-01	-0.616	0.538316	
ns(doy, 6)5	-4.673e-01	8.630e-01	-0.542	0.588242	
ns(doy, 6)6	-2.216e-01	1.567e-01	-1.414	0.157536	
as.factor(dow)2	-2.411e-02	1.863e-02	-1.294	0.195866	
as.factor(dow)3	-3.012e-02	1.866e-02	-1.614	0.106781	
as.factor(dow)4	-5.367e-02	1.879e-02	-2.856	0.004354	**
as.factor(dow)5	-5.149e-02	1.876e-02	-2.744	0.006135	**
as.factor(dow)6	-5.699e-02	1.881e-02	-3.031	0.002483	**
as.factor(dow)7	-5.328e-02	1.879e-02	-2.836	0.004634	**

---

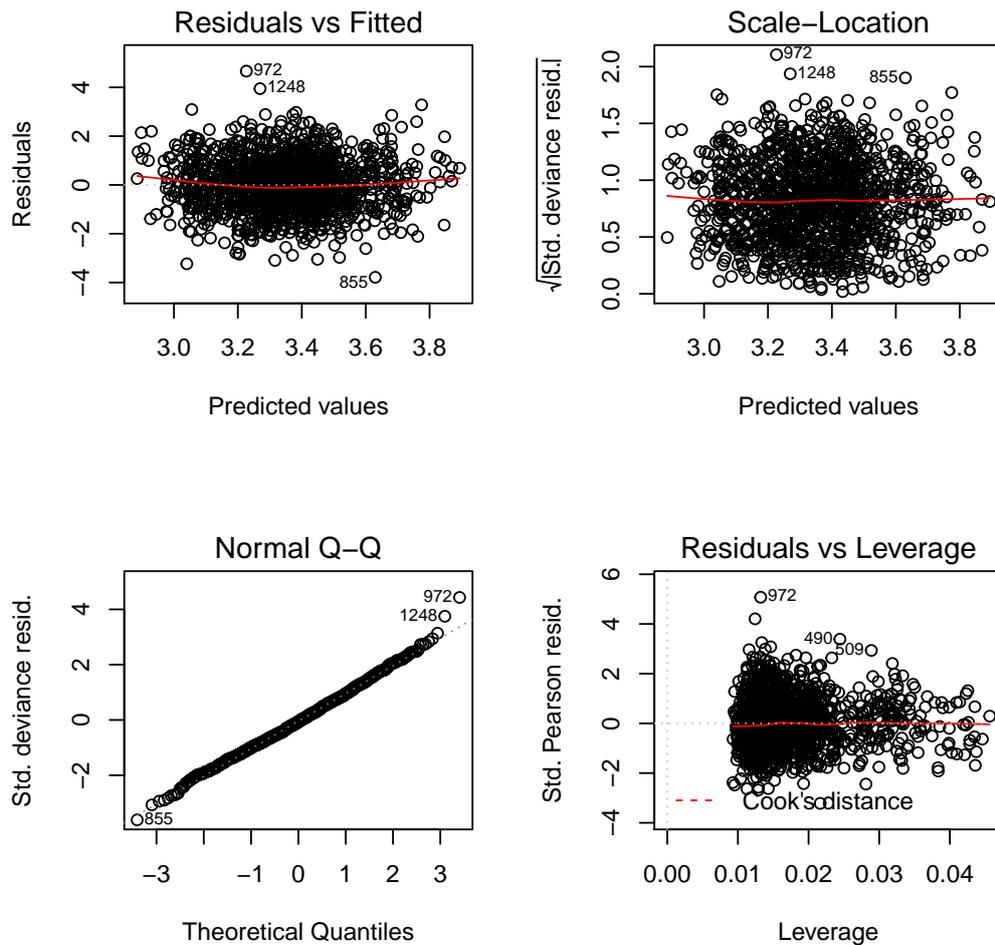
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.122101)

Null deviance: 3217.6 on 1529 degrees of freedom  
Residual deviance: 1679.1 on 1504 degrees of freedom  
(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



### B.2.3 Modelo com Temperatura Média, Humidade e SG

Call:

```
glm(formula = CircResp ~ ns.temp + ns.humidade + ns.gripe +  
     ns(tempo, 4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)),  
     family = quasipoisson(), data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.6075	-0.7320	-0.0538	0.6624	4.5648

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-9.086e+00	4.415e-01	-20.579	< 2e-16	***
ns.tempv1.l1	-6.233e-03	9.086e-04	-6.860	1.00e-11	***
ns.tempv1.l2	-1.885e-03	8.670e-04	-2.174	0.02985	*
ns.tempv1.l3	2.262e-03	1.532e-03	1.477	0.13996	
ns.tempv1.l4	-2.678e-03	1.092e-03	-2.453	0.01428	*
ns.humidadev1.l1	1.124e-02	3.985e-03	2.819	0.00487	**
ns.humidadev2.l1	-2.447e-04	9.446e-05	-2.591	0.00967	**
ns.humidadev1.l2	-4.310e-04	1.945e-04	-2.215	0.02688	*
ns.humidadev2.l2	8.542e-06	5.517e-06	1.548	0.12175	
ns.gripev1.l1	-4.132e-04	1.488e-04	-2.777	0.00555	**
ns.gripev1.l2	5.489e-04	7.652e-05	7.174	1.14e-12	***
ns.gripev1.l3	-7.633e-05	4.415e-05	-1.729	0.08400	.
ns(tempo, 4)1	-1.703e-01	2.714e-02	-6.275	4.57e-10	***
ns(tempo, 4)2	-2.129e-01	2.667e-02	-7.984	2.80e-15	***
ns(tempo, 4)3	-4.384e-01	6.206e-02	-7.064	2.47e-12	***
ns(tempo, 4)4	-3.173e-01	2.455e-02	-12.928	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	-2.867e-01	4.166e-01	-0.688	0.49148	
ns(doy, 6)2	-1.136e-01	4.532e-01	-0.251	0.80211	
ns(doy, 6)3	-2.348e-01	4.379e-01	-0.536	0.59196	
ns(doy, 6)4	-1.304e-01	3.064e-01	-0.426	0.67040	
ns(doy, 6)5	-3.956e-01	8.675e-01	-0.456	0.64839	
ns(doy, 6)6	-1.923e-01	1.601e-01	-1.201	0.22994	
as.factor(dow)2	-2.369e-02	1.855e-02	-1.277	0.20167	
as.factor(dow)3	-2.907e-02	1.858e-02	-1.565	0.11782	
as.factor(dow)4	-5.237e-02	1.871e-02	-2.799	0.00519	**
as.factor(dow)5	-4.984e-02	1.868e-02	-2.669	0.00769	**
as.factor(dow)6	-5.633e-02	1.872e-02	-3.009	0.00267	**
as.factor(dow)7	-5.329e-02	1.870e-02	-2.850	0.00444	**

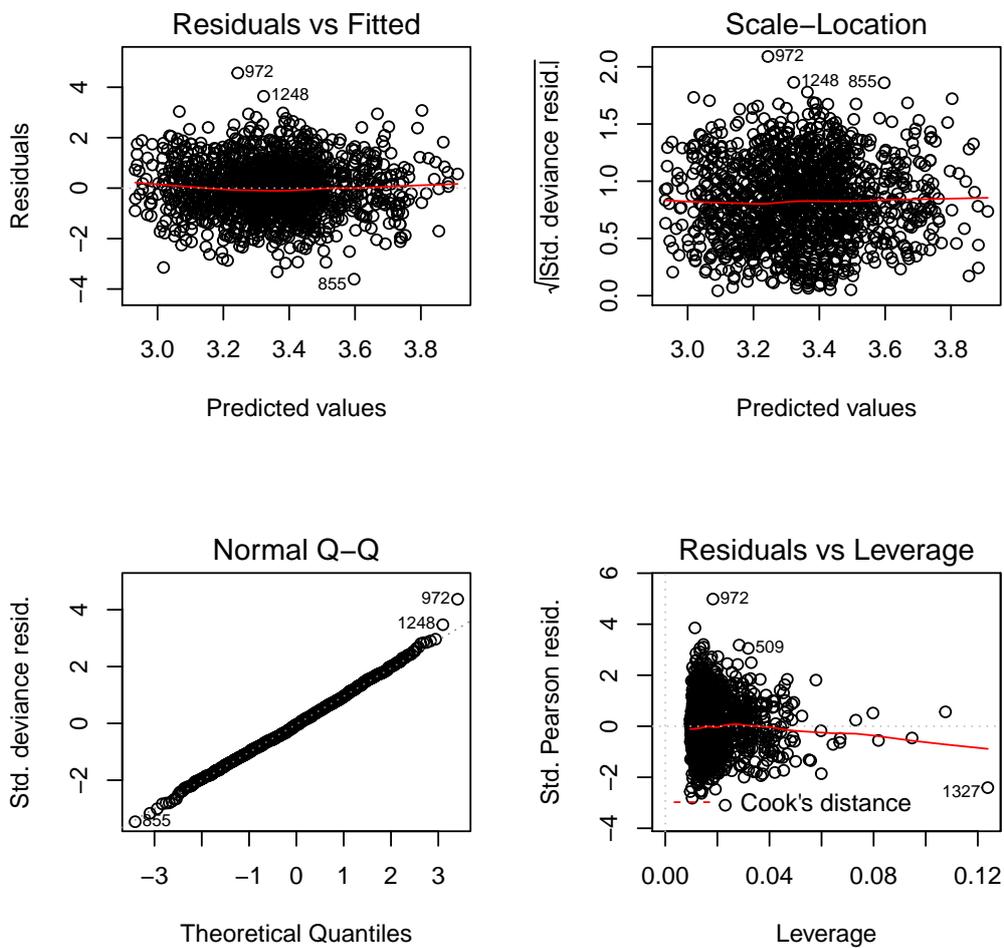
---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.111915)

Null deviance: 3217.6 on 1529 degrees of freedom  
Residual deviance: 1666.1 on 1502 degrees of freedom  
(300 observations deleted due to missingness)  
AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4



## B.2.4 Modelo com Temperatura *windchill* e SG

Call:

```
glm(formula = CircResp ~ ns.WC + ns.gripe + ns(tempo, 4) + ns(doy, 6) + as.factor(dow) + offset(log(pop)), family = quasipoisson(), data = dados)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.7097	-0.7628	-0.0608	0.6658	4.3704

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	-9.030e+00	4.330e-01	-20.856	< 2e-16	***
ns.WCv1.l1	-4.459e-03	6.167e-04	-7.231	7.59e-13	***
ns.WCv1.l2	-1.047e-03	5.982e-04	-1.750	0.080297	.
ns.WCv1.l3	-3.692e-04	1.011e-03	-0.365	0.715067	
ns.WCv1.l4	-1.039e-03	7.121e-04	-1.460	0.144623	
ns.gripev1.l1	-4.800e-04	1.449e-04	-3.313	0.000944	***
ns.gripev1.l2	5.994e-04	7.210e-05	8.313	< 2e-16	***
ns.gripev1.l3	-5.294e-05	4.414e-05	-1.199	0.230565	
ns(tempo, 4)1	-1.838e-01	2.720e-02	-6.757	2.01e-11	***
ns(tempo, 4)2	-2.329e-01	2.634e-02	-8.844	< 2e-16	***
ns(tempo, 4)3	-5.347e-01	6.496e-02	-8.231	3.97e-16	***
ns(tempo, 4)4	-2.942e-01	2.301e-02	-12.788	< 2e-16	***
ns(doy, 6)1	-3.809e-01	4.086e-01	-0.932	0.351356	
ns(doy, 6)2	-2.784e-01	4.441e-01	-0.627	0.530769	
ns(doy, 6)3	-3.963e-01	4.279e-01	-0.926	0.354486	
ns(doy, 6)4	-2.326e-01	2.991e-01	-0.778	0.436977	
ns(doy, 6)5	-5.831e-01	8.531e-01	-0.684	0.494373	
ns(doy, 6)6	-2.431e-01	1.543e-01	-1.576	0.115297	
as.factor(dow)2	-2.287e-02	1.859e-02	-1.230	0.218737	
as.factor(dow)3	-2.783e-02	1.861e-02	-1.496	0.134943	
as.factor(dow)4	-5.119e-02	1.874e-02	-2.731	0.006379	**
as.factor(dow)5	-4.896e-02	1.871e-02	-2.617	0.008958	**
as.factor(dow)6	-5.594e-02	1.875e-02	-2.983	0.002903	**

```
as.factor(dow)7 -5.363e-02  1.874e-02  -2.861  0.004275 **
```

---

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.116667)

Null deviance: 3217.6 on 1529 degrees of freedom

Residual deviance: 1676.0 on 1506 degrees of freedom

(300 observations deleted due to missingness)

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 4

