

Análise espácio-temporal da influência de variáveis ambientais em saúde

Mariana Ramos Oliveira

Mestrado em Engenharia Geográfica

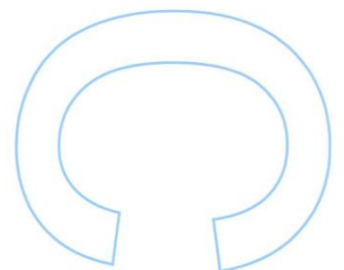
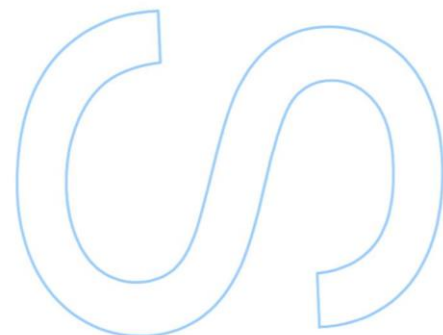
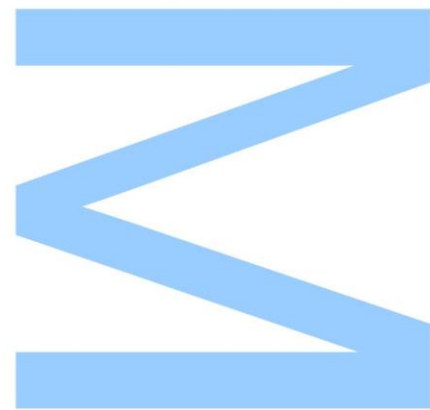
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2018

Orientador

Ana Cláudia Moreira Teodoro, Professora Auxiliar com Agregação,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

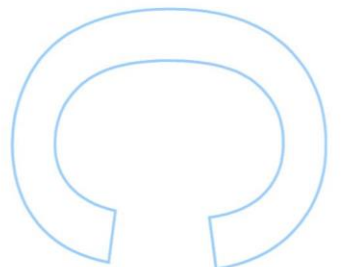
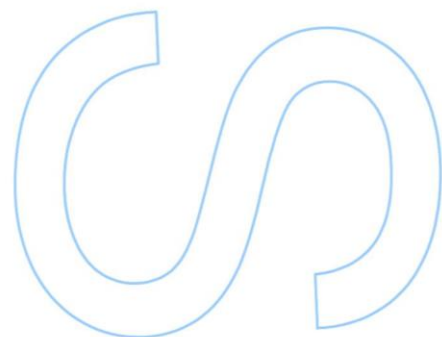
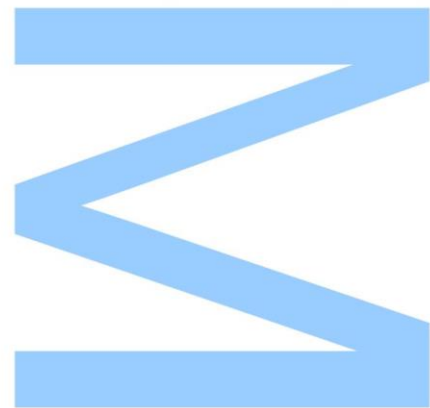
Hernâni Manuel da Silva Lobo Maia Gonçalves, Professor Auxiliar
Convidado, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Em primeiro lugar, à minha orientadora, a professora Ana Teodoro, por me ter dado esta magnífica oportunidade que me abriu tantas portas e por todo o apoio ao longo deste caminho.

Ao meu co-orientador, o professor Hernâni Gonçalves, por toda a paciência que demonstrou ter comigo, ajudando-me sempre e tantas vezes e transmitindo-me conhecimentos extremamente valiosos sem os quais nunca teria conseguido terminar este projeto.

À professora Lia Duarte, por me ajudar com todas as dúvidas relativas ao QGIS.

À minha mãe por todo o apoio e toda a paciência de me ouvir reclamar a toda a hora das dificuldades e por fazer sempre os possíveis e impossíveis para me dar o melhor ambiente de trabalho possível.

À minha mana por todas as discussões extremamente úteis entre teses de uma e de outra e todo o incentivo constante de terminarmos juntas esta etapa das nossas vidas.

Aos meus queridos sobrinhos, por não me deixarem dormir de manhã depois de noites inteiras de trabalho e por me deixarem sempre com um sorriso na cara, acordando-me com beijinhos e abraços ternurentos.

Ao meu noivo, por compreender a minha necessidade de trabalhar até tarde e me alimentar para que nada nunca faltasse, bem como levar-me para longe quando necessário, tornando o meu mundo mais simples.

À minha amiga e colega Ana por me tirar todas as dúvidas existenciais que surgiram ao longo deste caminho.

Por fim, à minha avó, que mesmo marafada comigo, sempre ficava do meu lado.

Resumo

A poluição atmosférica é uma das causas de exposição da população a agentes de risco de diversas doenças. A deteção remota constitui uma ferramenta de inferência de dados, permitindo determinar certas características dos objetos à superfície da Terra.

Esta dissertação tem como objetivo efetuar um estudo epidemiológico aplicado à pré-eclampsia (doença caracterizada pelo aumento da pressão arterial durante a gravidez), usando como variáveis de estudo a temperatura, a humidade relativa, a pressão atmosférica, o NDVI (índice de vegetação) e diversos poluentes atmosféricos (benzeno, monóxido de carbono, óxidos de azoto, ozono, partículas e dióxido de enxofre).

Foram usados dados pontuais de estações meteorológicas e dados de satélite para obter as concentrações das variáveis de estudo, e os dados da pré-eclampsia foram calculados como sendo uma taxa de casos por número de nascimentos totais. Todos os dados foram usados com uma resolução temporal mensal e uma resolução espacial ao nível dos distritos de Aveiro, Braga e Porto, entre 2001 e 2015.

A pré-eclampsia demonstrou estar moderadamente correlacionada com poluentes como o monóxido de carbono ($r=0.119$, $p=0.006$), o ozono ($r=-0.113$, $p=0.008$), as PM10 ($r=0.091$, $p=0.035$) e o dióxido de azoto ($r=0.125$, $p=0.004$) e a variável ambiental do NDVI ($r=-0.414$, $p<0.001$). A relação mais forte encontrada foi entre a pré-eclampsia e o NDVI e a humidade relativa e as PM_{2.5} não parecem ter qualquer influência na doença.

Estudos preliminares como este visam estudar os fatores de risco de doenças, partindo do princípio que diferentes populações são expostas a diferentes concentrações de fatores de risco e, por isso, desenvolvem a doença a diferentes taxas. Serão necessários mais estudos nesta área, nomeadamente na análise de eventuais interações entre variáveis e estudos de causalidade.

Palavras – chave:

Epidemiologia; pré-eclampsia; ambiente; deteção remota.

Abstract

Air pollution is one of the causes of the population exposure to risk agents of various diseases. Remote sensing is a data inference tool, allowing to determine certain characteristics of objects on the surface of the Earth.

This dissertation aims to carry out an epidemiological study on pre-eclampsia (a disease characterized by increased blood pressure during pregnancy), using as study variables temperature, relative humidity, atmospheric pressure, NDVI (vegetation index) and various atmospheric pollutants (benzene, carbon monoxide, nitrogen oxides, ozone, particulates and sulphur dioxide).

Punctual data from meteorological stations and satellite data were used to obtain the concentrations of study variables, and pre-eclampsia data were calculated as a case rate by number of total births. All data were used with a monthly time resolution and a spatial resolution at the level of the districts of Aveiro, Braga and Porto, from 2001 to 2015

Pre-eclampsia was moderately correlated to air pollutants such as carbon monoxide ($r = 0.119$, $p = 0.006$), ozone ($r = -0.113$, $p = 0.008$), PM10 ($r = 0.091$, $p = 0.035$) and nitrogen dioxide ($r = 0.125$, $p = 0.004$) and the environmental variable of NDVI ($r = -0.414$, $p = <0.001$).

Preliminary studies like this aim to study the risk factors of diseases, assuming that different populations are exposed to different concentrations of risk factors and, therefore, develop the disease through different rates. Further studies are needed to evaluate possible interaction between variables and to perform causality analysis.

Key words:

Epidemiology; pre-eclampsia; environment; remote sensing.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo	III
Abstract	V
Índice de figuras	IX
Índice de tabelas.....	XI
Lista de acrónimos.....	XIII
1. Introdução.....	1
1.1. Epidemiologia	1
1.2. Meio ambiente	2
1.3. Detecção remota	4
1.5. Estado da arte	5
1.6. Objetivos	6
2. Dados utilizados	7
2.1. QualAr	7
2.2. MODIS.....	7
2.3. CAOP	8
2.4. CLC	9
2.5. Pré-eclampsia.....	9
3. Metodologias	11
3.1. Obtenção dos dados.....	11
3.2. Tratamento dos dados.....	12
3.2.1. Métodos estatísticos	12
3.2.2. Dados da QualAr	15
3.2.3. Dados de satélite.....	17
3.2.4. Dados de pré-eclampsia.....	21
3.2.5. Dados de ocupação do solo	21
4. Resultados.....	23
4.1. Análise da normalidade	23

4.2.	Estatísticas descritivas	25
4.3.	Análise espacial.....	27
4.4.	Análise temporal.....	28
4.5.	Análise da pré-eclampsia em função das variáveis ambientais.....	31
5.	Discussão	35
6.	Conclusão.....	39
7.	Referências	41
Anexo I - Rotinas		i
A.	medidas_poluentes_diarias.m.....	i
B.	kriging_qualar.m.....	iii
C.	shp_to_xls.m	v
D.	clip_stats_qualar.m	vi
E.	coordenadas_clip.m	vii
F.	stats_mensais_qualar.m	viii
G.	MOD11A1_3DI.m.....	x
H.	MOD13Q1_3DI.m	xii
I.	RH_SP_calc.m.....	xiv
J.	RH_SP_stats.m.....	xvi
K.	mat_to_xls.m.....	xvii
L.	plots.m	xviii
Anexo II – Gráficos		xxiii
A.	Histogramas com dados de todos os distritos	xxiii
B.	Histogramas com dados por distrito	xxiv
B.1.	Aveiro	xxiv
B.2.	Braga.....	xxvi
B.3.	Porto.....	xxvii
C.	Diagramas de dispersão e linhas por ano	xxix
Anexo III – Mapas.....		xxxi

Índice de figuras

Figura 1 - Esquema representativo da origem grega da palavra "epidemiologia" (Jekel, Katz, & Elmore, 2005)	2
Figura 2 - Esquema representativo de alguns dos métodos de interpolação espacial existentes (Lam, 1983)	3
Figura 3 - Variáveis utilizadas e respetiva origem	8
Figura 4 - Base de dados QualAr	11
Figura 5 - Plataforma Earthdata	11
Figura 6 - Esquema do procedimento de análise estatística	12
Figura 7 - Formato dos ficheiros <i>Excel</i> dos poluentes	15
Figura 8 - Criação de grelha regular de interpolação para kriging	17
Figura 9 - Esquema do processamento efetuado dos produtos MODIS	18
Figura 11 - Histograma da pré-eclampsia (todos os distritos)	24
Figura 12 - Histograma da pré-eclampsia (Braga)	25
Figura 13 - Mapas de pré-eclampsia em Portugal continental em 2001, 2007 e 2015, respetivamente, e respetiva legenda	27
Figura 14 - Mapas das variáveis em estudo nos distritos de Aveiro, Braga e Porto e respetiva legenda	28
Figura 15 - Diagrama de dispersão e linha da pré-eclampsia em função do tempo	28
Figura 16 - Gráficos de dispersão e linha de variáveis independentes (temperatura, pressão atmosférica, humidade relativa, NDVI, benzeno e monóxido de carbono, respetivamente)	29
Figura 17 - Gráficos de dispersão de variáveis dependentes (NDVI, CO e NO) em função da pré-eclampsia e respetiva reta de regressão linear	32
Figura 18 - Mapa de distritos com estações meteorológicas assinaladas e o distrito do Porto em destaque	36
Figura 19 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (todos os distritos)	xxiv
Figura 20 - Histograma de todas as variáveis em estudo (Aveiro)	xxv
Figura 21 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (Braga)	xxvii
Figura 22 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (Porto)	xxviii
Figura 23 - Gráficos de dispersão e linhas de todas as variáveis em estudo em função do tempo	xxix
Figura 24 - Diagramas de dispersão com reta de ajuste linear para a pré-eclampsia em função de todas as restantes variáveis em estudo	xxx

Figura 25 - Mapas anuais da taxa de pré-eclampsia em Portugal continental e respetiva legenda	xxxix
Figura 26 - Mapas anuais da taxa de pré-eclampsia na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 27 - Mapas anuais de temperatura na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 28 - Mapas anuais da pressão atmosférica na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 29 - Mapas anuais da humidade relativa na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 30 - Mapas anuais de NDVI na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 31 - Mapas anuais de C ₆ H ₆ na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 32 - Mapas anuais de CO na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 33 - Mapas anuais de NO na zona de estudo e respetiva legenda	xxxix
Figura 34 - Mapas anuais de NO ₂ na zona de estudo e respetiva legenda	xl
Figura 35 - Mapas anuais de O ₃ na zona de estudo e respetiva legenda	xli
Figura 36 - Mapas anuais de PM ₁₀ na zona de estudo e respetiva legenda	xlii
Figura 37 - Mapas anuais de PM _{2.5} na zona de estudo e respetiva legenda	xliii
Figura 38 - Mapas anuais de SO ₂ na zona de estudo e respetiva legenda	xliv

Índice de tabelas

Tabela 1 - Valores limite de exposição referentes a alguns poluentes atmosféricos (DL102/2010)	3
Tabela 2 - Força da correlação entre variáveis	14
Tabela 3 - Características dos produtos MODIS utilizados	8
Tabela 4 - Valores de escala e offset e respectivas unidades das variáveis extraídas do MOD07_L2	20
Tabela 5 - Resultados do teste Shapiro-Wilk efetuado a todas as variáveis (todos os distritos)	23
Tabela 6 - Resultados do teste Shapiro-Wilk efetuado a todas as variáveis (por distrito)	24
Tabela 7 - Estatísticas descritivas de todas as variáveis (todos os distritos)	25
Tabela 8 - Estatísticas descritivas de todas as variáveis (por distrito)	26
Tabela 9 - Coeficientes de correlação das variáveis em estudo em relação ao período e respectivas significâncias	30
Tabela 10 - Coeficientes de correlação entre variáveis dependentes e pré-eclampsia e respectivas significâncias	31
Tabela 11 - Coeficientes de regressão linear de todas as variáveis independentes em função da pré-eclampsia e respectivas significâncias	33

Lista de acrónimos

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
- C₆H₆ – Benzeno
- CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal
- CLC – *Corine Land Cover*
- CO – Monóxido de carbono
- DGT – Direção Geral do Território
- DT – Temperatura do ponto de orvalho (*Dew Point Temperature*)
- LST – Temperatura da superfície da Terra (*Land Surface Temperature*)
- MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
- NO – Monóxido de azoto
- NO₂ – Dióxido de azoto
- O₃ – Ozono
- OR – Razão de chances (*Odds ratio*)
- PE – Pré-eclampsia
- PM₁₀ – Material particulado com diâmetro inferior a 10 µm
- PM_{2.5} – Material particulado com diâmetro inferior a 2.5 µm
- RH – Humidade relativa (*relative humidity*)
- SO₂ – Dióxido de enxofre
- SP – Pressão da superfície (*Surface Pressure*)
- ST – Temperatura da superfície (*Surface Temperature*)
- SVP – Pressão de vapor saturado (*Saturated Vapor Pressure*)
- SW – Shapiro-Wilk

- VL – Valor Limite
- VP – Pressão de vapor (*Vapor Pressure*)

1. Introdução

O aumento da consciencialização ambiental leva à percepção de que o ambiente influencia todos nós em cada momento das nossas vidas, sendo que estamos constantemente expostos a agentes patogénicos e poluentes atmosféricos. O nosso corpo tem a árdua tarefa de coexistir com todas as variáveis que nos rodeiam, moldando-se às alterações que ocorrem constantemente. Por muito adaptáveis que sejamos, alterações cada vez mais significativas têm vindo a acontecer à nossa volta, dificultando a nossa convivência.

Talvez por coincidência, ou não, também um aumento na incidência de diversas doenças tem vindo a verificar-se na nossa sociedade, levando cada vez mais a consequências negativas na saúde em geral. Talvez por isso, também surgem novos estudos epidemiológicos, com temas abrangentes, desde doenças infecciosas a doenças crónicas. Atualmente, o ambiente ganha um papel ativo nestes estudos, entrando com um conjunto de fatores altamente variáveis e claramente influenciáveis.

A tecnologia avança exponencialmente, trazendo produtos cada vez mais desenvolvidos que ajudam a sociedade a adaptar-se a todas as mudanças em curso. Uma das tecnologias mais impressionantes é, provavelmente, a dos satélites, que orbitam a Terra fornecendo dados meteorológicos, ajudando-nos a ir de um lugar ao outro e adquirindo imagens de grande utilidade. É dentro destas imagens de nova geração que é possível obter dados de interesse para estudos epidemiológicos.

Estudos como este destacam a relevância do ambiente que nos rodeia, e de como é urgente protegemo-nos para permitir que as gerações futuras aproveitem tanto esta Terra e toda a sua grandiosidade como nós.

1.1. Epidemiologia

A epidemiologia (Figura 1) inclui o estudo de fatores de risco em doenças, bem como a sua distribuição, assumindo que diferentes populações estão expostas a diferentes concentrações de fatores de risco, desenvolvendo mais provavelmente a doença em questão. Este tipo de estudo permite determinar quais os fatores de risco mais relevantes para uma doença, tendo em conta as diferentes frequências com que esta ocorre na população e em subgrupos específicos da população (Mausner & Bahn, 1999).

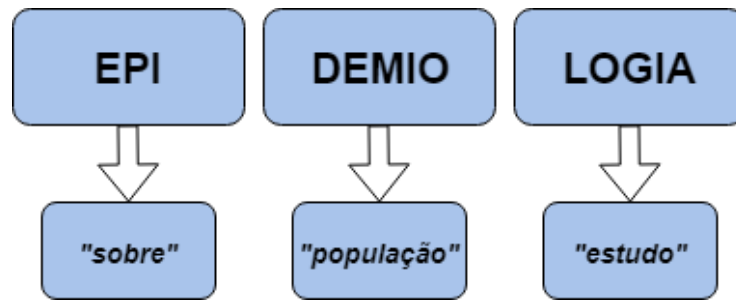


Figura 1 - Esquema representativo da origem grega da palavra "epidemiologia" (Jekel, Katz, & Elmore, 2005)

A epidemiologia procura padrões de incidência de doenças numa população para poder elaborar hipóteses acerca dos fatores de risco principais e, conseqüentemente, sugerir métodos de prevenção (Jekel, Katz, & Elmore, 2005).

Atualmente, a epidemiologia foca-se, entre outras, em doenças infecciosas, crônicas (como a asma) e reprodutivas. Estudos ecológicos visam criar hipóteses acerca de fatores de risco em diferentes grupos de pessoas, geralmente distribuídos geograficamente, ou por diferentes períodos temporais. Uma vez criada uma hipótese para um fator determinante da doença em estudo, pode ser realizado um estudo epidemiológico, desta vez no grupo mais afetado, para confirmar a associação entre o fator e a doença (Mausner & Bahn, 1999).

No entanto, estes estudos são limitados pela falta de recolha de dados pessoais, que podem influenciar o fator de risco, e originar conclusões erradamente extrapoladas para pessoas individuais. Outra limitação destes estudos consiste na utilização de grupos de tamanho muito pequeno, que revela instabilidade dos dados e potencialmente baixa taxa de incidência da doença, ou de grupos excessivamente grandes, que podem ter apenas uma pequena fração exposta a um fator de risco, não permitindo resultados significativos (Mausner & Bahn, 1999).

1.2. Meio ambiente

A poluição atmosférica é uma das causas de exposição da população a agentes de risco de diversas doenças. Esta pode ser definida como a presença de substâncias indesejáveis no ar, sejam estas substâncias nocivas para a saúde ou não. Mais concretamente, os poluentes podem ser divididos em três categorias de acordo com as suas propriedades:

- substâncias reativas – inclui o dióxido de enxofre (SO₂) e o monóxido de carbono (CO);
- partículas finas (PM_{≤ 2.5} µm) – inclui fumo originado por combustão;

- partículas grosseiras ($PM \geq 10 \mu m$) – inclui cinzas e é principalmente composto por matéria mineral (Meetham, 1964).

O decreto de lei nº102/2010 estabelece o regime de avaliação e gestão da qualidade do ar, definindo, no anexo XII, os valores limite de exposição do benzeno (C_6H_6), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de azoto (NO_2) e as partículas de tamanho igual ou inferior a $10 \mu m$ (PM_{10}), valores estes descritos na Tabela 1 (DL102/2010), com as correspondentes tolerâncias.

Tabela 1 - Valores limite de exposição referentes a alguns poluentes atmosféricos (DL102/2010)

	VL anual (mg/m^3)	VL horário (mg/m^3)
C6H6 (tolerância)	0.005 (+0%)	-
CO (tolerância)	-	10 (+60%)
SO2 (tolerância)	-	0.350 (+43%)
NO2 (tolerância)	0.040 (+0%)	0.200 (+0%)
PM10 (tolerância)	0.040 (+20%)	-

Estes poluentes são medidos em estações meteorológicas distribuídas ao longo do território, sendo que nem todos os concelhos têm uma estação ativa. A interpolação espacial (Figura 2) torna-se então uma ferramenta essencial para obter dados em locais nos quais não foram medidos (Lam, 1983).

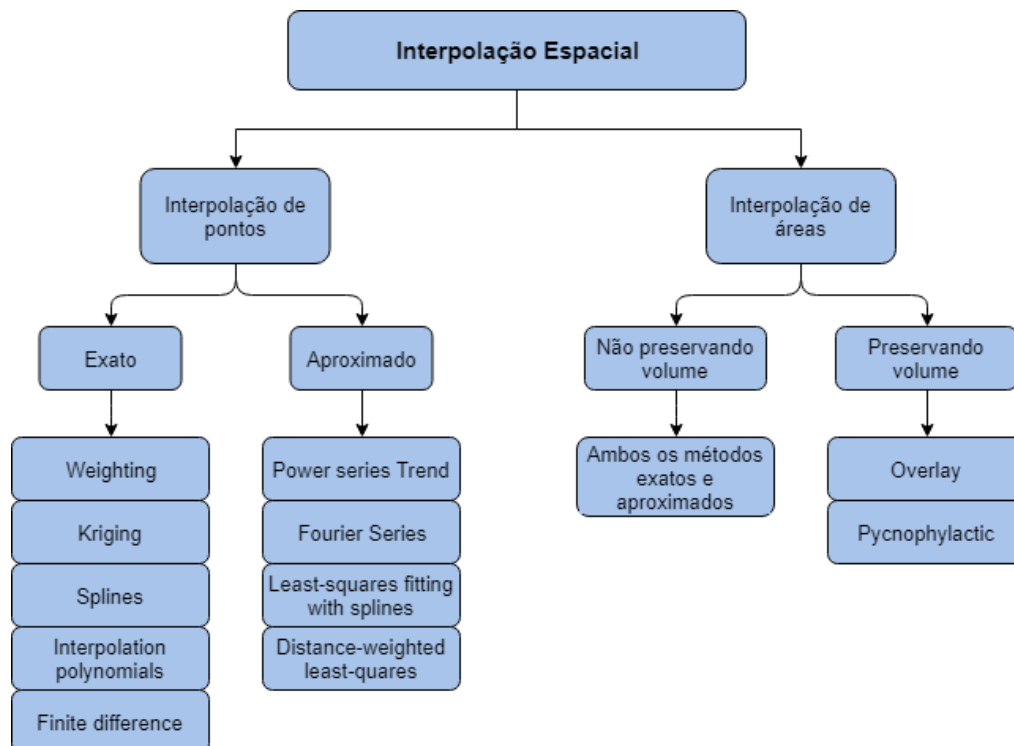


Figura 2 - Esquema representativo de alguns dos métodos de interpolação espacial existentes (Lam, 1983)

Contudo, os poluentes não são as únicas propriedades ambientais de interesse em estudos epidemiológicos. Outras propriedades como a temperatura, a humidade relativa e a pressão atmosférica podem revelar-se igualmente importantes nestes estudos. Outro exemplo de uma propriedade relevante é a vegetação existente no meio ambiente. Sendo a vegetação um dos indicadores mais relevantes de um ecossistema, variações na sua quantidade ou qualidade podem refletir alterações climáticas que terão um impacto na população desse ecossistema (Jensen, 2007).

Desde 1960 que a quantificação da vegetação envolve o uso de índices de vegetação, que representam de forma adimensional a qualidade de um coberto vegetal detetado remotamente. Um dos índices mais utilizados é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que permite monitorizar mudanças entre estações do ano e medir alterações na quantidade de biomassa verde. Sendo um índice de vegetação, este assume valores entre -1 e 1, sendo que todos os valores negativos são, geralmente, truncados a zero.

1.3. Detecção remota

A deteção remota torna possível obter dados das propriedades ambientais, constituindo uma ferramenta de inferência de dados, medindo a quantidade de energia eletromagnética de um determinado objeto e usando algoritmos para determinar certas características do mesmo (Jensen, 2007).

A periodicidade e sistematicidade de recolha de dados na deteção remota é uma das vantagens mais relevantes, bem como a possibilidade de observar um fenómeno sem nele interferir. Talvez a maior limitação nesta ciência esteja interligada à sua componente humana, inerentemente sujeita a erros, e que controla toda a montagem, calibração e utilização dos dados (Jensen, 2007).

Outro fator essencial na deteção remota é a resolução, e podem ser consideradas diferentes resoluções, sendo a espectral, a espacial e a temporal as mais relevantes. A resolução espectral consiste no número e na dimensão de intervalos de comprimento de onda específicos aos quais o sensor é sensível, sendo estes intervalos definidos como bandas. A resolução espacial pode ser definida como a menor medida entre dois objetos distintos identificáveis ou, mais simplesmente, pela cobertura da área de um pixel no terreno observado. A resolução temporal refere-se à periodicidade a que o sensor recolhe imagens de local ou ao período orbital do satélite a bordo do qual está instalado o sensor (Jensen, 2007).

1.4. Pré-eclampsia

A pré-eclampsia é uma doença caracterizada pelo aumento da pressão arterial durante a gravidez. Esta condição é globalmente a principal causa de morte materna, bem como de consequências negativas para o feto, como o nascimento pré-termo (15% a 67% de incidência) e a morte fetal (1% a 2% de incidência). A pré-eclampsia tem como causas principais a primeira gravidez, a mãe ser muito nova ou já perto da menopausa e gestações multifetais. No entanto, quando a grávida desenvolve pré-eclampsia antes das 33 semanas de gestação as consequências da doença poderão ser menos graves (Olsson, Mogren, & Forsberg, 2013) (Sibai, Dekker, & Kupferminc, 2005).

1.5. Estado da arte

Existem inúmeros estudos efetuados na área da pré-eclampsia devido às elevadas implicações da doença. Concretamente, foram encontrados cinco estudos que relacionam a pré-eclampsia com as variáveis ambientais. Em comum, todos estes estudos têm o método de avaliação da exposição aos poluentes, obtida através de modelos matemáticos usando dados de estações meteorológicas. Por exemplo, um desses estudos revelou que valores elevados de exposição a ozono durante o primeiro trimestre de gravidez aumentavam o risco de pré-eclampsia ($OR = 1.03$, $CI_{95\%} = [1.01; 1.06]$, $n=120755$) (Olsson, Mogren, & Forsberg, 2013).

Outros estudos comprovaram a correlação entre a pré-eclampsia e os óxidos de azoto (Dadvand, et al., 2013), analisando a exposição no terceiro trimestre de gravidez com OR de 1.51, $CI_{95\%} = [1.32; 1.73]$, num total de 8398 gestações, 103 destas com casos de pré-eclampsia (Malmqvist, et al., 2013) e a exposição ao longo de toda a gravidez, com um aumento de 33% dos casos de pré-eclampsia em relação aos óxidos de azoto (Wu, et al., 2009).

Foram ainda encontradas na literatura correlações entre a pré-eclampsia e a matéria particulada ($PM_{2.5}$) (Wu, et al., 2009), com um aumento de 42% face à exposição durante a gravidez e associações significativas com a exposição no terceiro trimestre de gravidez ($OR = 1.32$, $CI_{95\%} = [1.02; 1.71]$, $n=81186$). Outro estudo ao longo de toda a gravidez mostrou associação entre a pré-eclampsia e a $PM_{2.5}$ ($OR = 1.51$, $CI_{95\%} = [1.13; 2.01]$) (Dadvand, et al., 2013).

Na literatura não foram encontradas associações entre a pré-eclampsia e o monóxido de carbono (Rudra, et al., 2011) nem a variação da pressão atmosférica (Noller, Resseguie, & Voss, 1996).

1.6. Objetivos

Ao longo desta dissertação pretende-se efetuar um estudo epidemiológico nacional acerca da pré-eclampsia, estudando como fatores de risco a temperatura, a humidade relativa, a pressão atmosférica, o NDVI (índice de vegetação) e diversos poluentes atmosféricos (benzeno, monóxido de carbono, óxidos de azoto, ozono, partículas e dióxido de enxofre). Devido ao elevado volume de dados, este objetivo foi reajustado, tendo sido considerados os distritos de Aveiro, Braga e Porto ao invés de todo o país.

De forma a alcançar este objetivo principal, surge como objetivo secundário a obtenção de dados ambientais a partir de medições pontuais ou de imagens de satélite e utilizando métodos geográficos e estatísticos para estimar esses mesmos dados, que permitirá outros estudos semelhantes na área da saúde.

2. Dados utilizados

2.1. QualAr

A QualAr¹ é uma base de dados disponibilizada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) que concentra várias informações acerca da qualidade do ar em Portugal. Entre as informações disponíveis estão as medições de poluentes atmosféricos em diversas estações meteorológicas ao longo do território nacional.

Entre os poluentes disponíveis, foram selecionados o benzeno (C₆H₆), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto (NO₂), o monóxido de azoto (NO), o ozono (O₃), as partículas de tamanho igual ou inferior a 10 µm (PM₁₀), as partículas de tamanho igual ou inferior a 2.5 µm (PM_{2.5}) e o dióxido de enxofre (SO₂). Estes poluentes foram selecionados de acordo com a literatura consultada acerca da pré-eclampsia e também acerca do parto pré-termo, por ser um dos *outcomes* mais prováveis da doença. Os poluentes estão organizados em folhas de cálculo por ano, com leituras diárias para cada estação meteorológica.

2.2. MODIS

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um sensor a bordo dos satélites *Terra* e *Aqua* que recolhe dados da superfície terrestre em 36 bandas espectrais, cobrindo toda a mesma área a cada 1 ou 2 dias. A partir dos dados recolhidos por este sensor, são formados diferentes produtos, que podem ser terrestres, atmosféricos, criosféricos, oceânicos ou em bruto, sendo que neste estudo foram utilizados produtos dos dois primeiros grupos. Fazem parte dos produtos terrestres o NDVI e a LST (*land surface temperature*) e dos produtos atmosféricos o perfil atmosférico, do qual foi retirada a SP (*surface pressure*) e calculada a RH (*relative humidity*). As variáveis utilizadas neste trabalho estão esquematicamente representadas na Figura 3.

¹ <https://qualar.apambiente.pt/qualar/index.php>

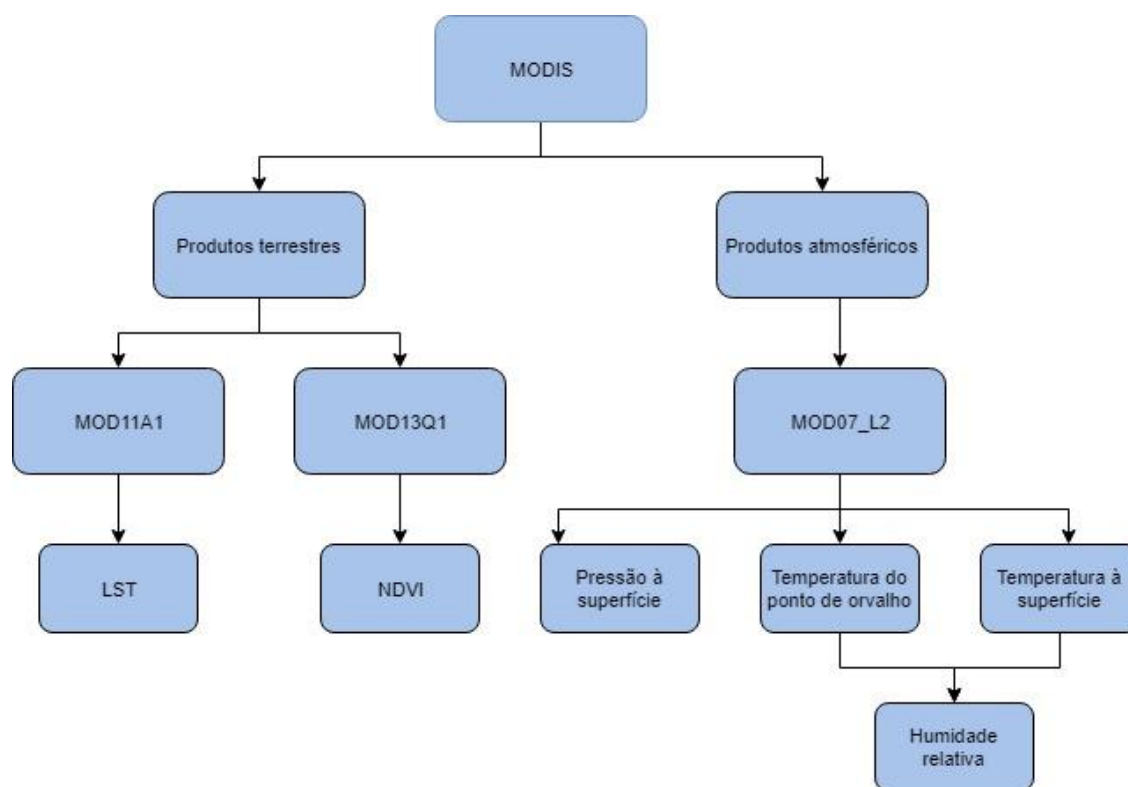


Figura 3 - Variáveis utilizadas e respetiva origem

Os diferentes produtos apresentam também diferentes características como a resolução, quer temporal, quer espacial. A Tabela 2 contém um resumo das características mais importantes de cada produto utilizado. É ainda de notar que os ficheiros estão disponíveis em formato HDF-EOS e a sua nomenclatura indica claramente o produto e a data de aquisição do mesmo.

Tabela 2 - Características dos produtos MODIS utilizados

	Resolução temporal	Resolução espacial	Período disponível
MOD11A1	Diária	1 km	03/2000 - Presente
MOD13Q1	16 dias	250 metros	02/2000 - Presente
MOD07_L2	Vários por dia	5 km	02/2000 - Presente

2.3. CAOP

A CAOP (Carta Administrativa Oficial de Portugal) contém os limites administrativos de Portugal num determinado ano. Geralmente, encontra-se organizada por freguesias, mas pode também ser aglomerada por concelhos ou distritos. A CAOP é disponibilizada pela Direção Geral do Território (DGT) em formato vetorial, anualmente, podendo haver mais do que uma versão por ano quando são necessárias alterações relevantes.

Os territórios administrativos estão identificados com um código DICOFRE, que codifica o distrito, o concelho e a freguesia, respetivamente, nos primeiros 2 dígitos, no 3º e 4º dígitos e nos últimos 3 dígitos, como o próprio nome indica. A *shapefile* contém ainda informação de áreas e perímetros dos territórios.

2.4. CLC

A Corine Land Cover (CLC) é uma forma de representação temática da cobertura da superfície terrestre em 44 classes, desde água a superfícies artificiais, incluindo zonas de vegetação naturais e florestas. Existem quatro CLCs, sendo a última a de 2012, estando esta última disponível em formato *raster* ou vetorial. O formato *raster* tem resoluções de 250 metros e de 100 metros.

2.5. Pré-eclampsia

Os dados relativos à pré-eclâmpsia foram obtidos a partir de um conjunto de dados observacional retrospectivo com episódios de hospitais públicos, fornecidos pela Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS) do Ministério da Saúde de Portugal. Foram selecionadas todas as hospitalizações entre 2001 e 2015 com diagnósticos primário e secundário de pré-eclampsia, tendo sido considerados os casos com códigos 642.4x, para pré-eclampsia leve ou não especificada, 642.5x para pré-eclampsia severa, 642.6x para pré-eclampsia com complicações no parto ou puerpério e 642.7x para casos de pré-eclampsia ou eclâmpsia em pacientes previamente hipertensos. A partir destes casos, foi usado o número de internamentos por pré-eclampsia mensalmente registados em cada distrito de Portugal continental, entre os anos de 2001 e 2015. Foram também tidos em conta os números totais de nascimentos mensais em cada distrito.

3. Metodologias

3.1. Obtenção dos dados

Os dados ambientais foram obtidos no site da APA (APA, 2017), da base de dados da qualidade do ar (Figura 4)

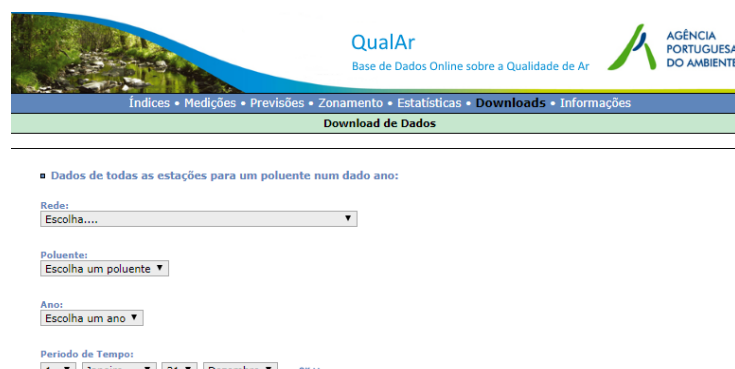


Figura 4 - Base de dados QualAr

Todos os dados de deteção remota foram obtidos a partir do site *Earthdata* (Figura 5), da NASA (NASA, 2018). Esta plataforma permite pesquisar por produto, localização e tempo. Foram feitas três pesquisas separadas, uma para cada produto utilizado. No caso do produto MOD07_L2, foi selecionada primeiramente toda a área de Portugal continental. No entanto, devido ao elevado volume de dados e à reformulação dos objetivos do trabalho, a pesquisa foi feita novamente, selecionando apenas a zona de Portugal contendo os distritos de Aveiro, Braga e Porto, originando um total de 16 046 imagens. Para os restantes dois produtos, foi selecionada a mesma área de Portugal, totalizando 12 184 imagens para o produto MOD11A1 e 808 para o produto MOD13Q1.

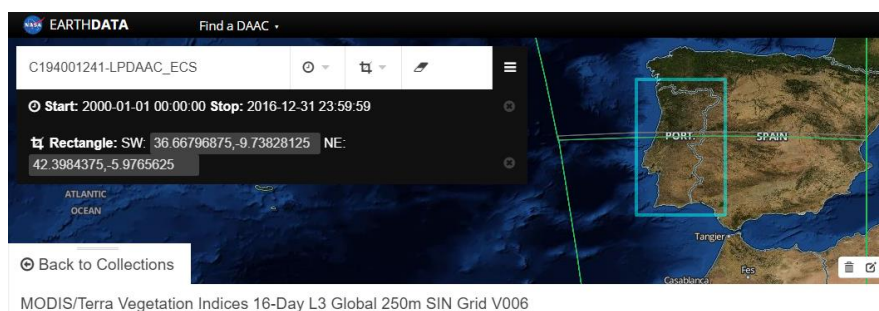


Figura 5 - Plataforma Earthdata

A CAOP foi obtida através do site da DGT, que disponibiliza as várias cartas entre 2009 e 2017. Tendo em conta a união de freguesias ocorrida em 2013, e de forma a manter uma carta administrativa constante ao longo de todos os anos de estudo, foi escolhida a CAOP de 2016, e todos os dados foram referidos a essa CAOP.

A CLC é disponibilizada pelo programa *Copernicus*, que permite o seu *download* em formatos *raster* ou vetorial. Foi escolhido o formato vetorial correspondente ao ano 2012.

As séries temporais relativas aos internamentos associados a pré-eclâmpsia foram obtidos conforme anteriormente descrito em 2.5, fornecidos por investigadores do Centro de Investigação em Tecnologia e Serviços de Saúde (CINTESIS), Faculdade de Medicina da Universidade do Porto.

3.2. Tratamento dos dados

3.2.1. Métodos estatísticos

Com vista a testar a hipótese de que as variáveis ambientais têm uma influência na taxa de incidência da pré-eclâmpsia, foi aplicado um tratamento estatístico aos dados deste estudo. Este tratamento estatístico foi aplicado usando essencialmente o *software* SPSS 25 e está esquematizado na figura 6.

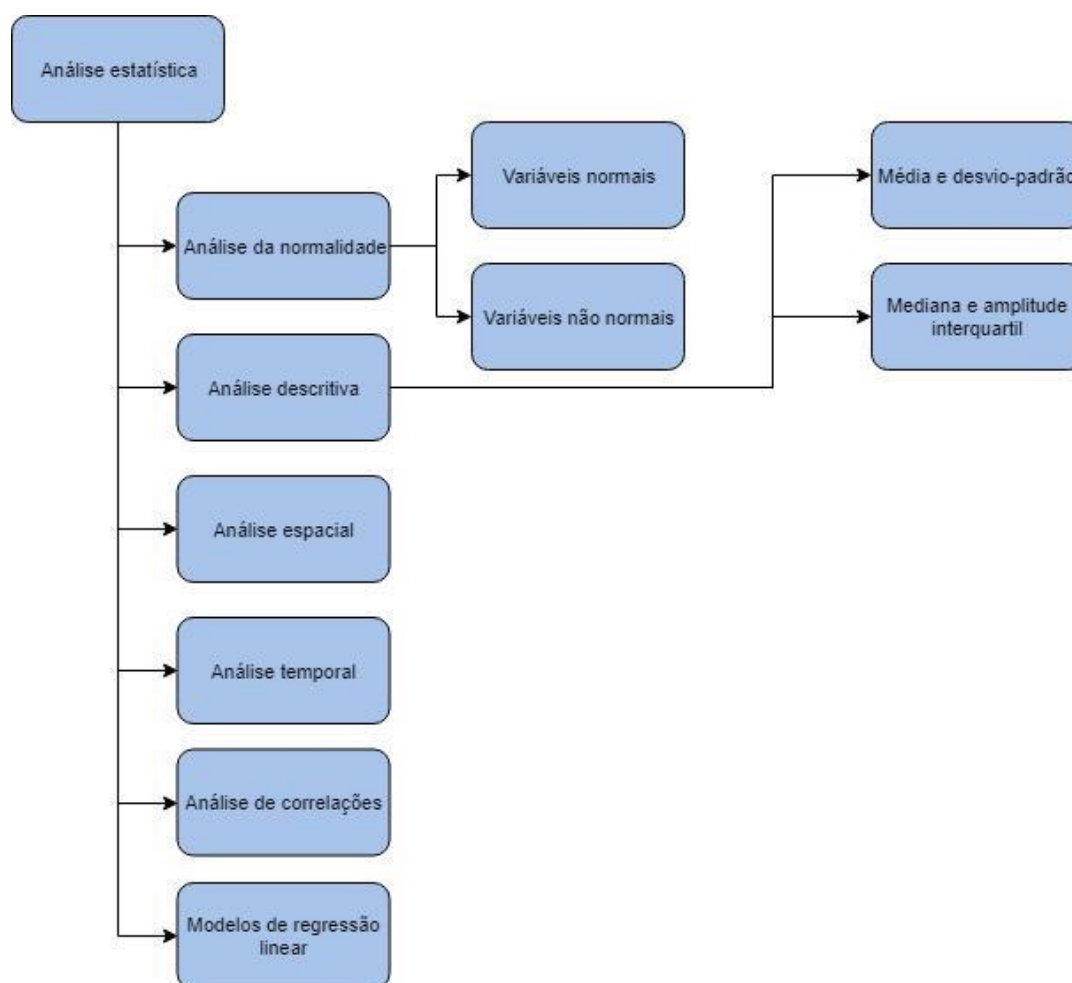


Figura 6 - Esquema do procedimento de análise estatística

Os dados epidemiológicos podem ser tratados como variáveis estatísticas, que podem ser qualitativas ou quantitativas. As variáveis utilizadas neste estudo são todas quantitativas. Avaliar a distribuição de uma variável quantitativa torna-se relevante na medida em que condiciona o seu tratamento estatístico, pelo que deve ser a primeira análise a ser feita. Neste caso, foi analisada a distribuição de todas as variáveis do estudo (Patrício, Loureiro, & Caramelo, 2017).

Por exemplo, variáveis quantitativas com distribuição normal podem ser descritas utilizando a média e o desvio padrão, permitindo caracterizar por completo a sua distribuição, mas o mesmo não pode ser feito com variáveis quantitativas que não sigam uma distribuição normal. Assim sendo, devem ser utilizadas a mediana e a amplitude interquartil como medidas descritivas dessas variáveis (Patrício, Loureiro, & Caramelo, 2017).

Para testar a normalidade de uma variável quantitativa deve-se, em primeiro lugar, analisar visualmente o histograma da variável. Em casos de dúvidas, pode usar-se o teste Shapiro-Wilk, válido para avaliar variáveis com pelo menos 10 ocorrências. O valor da significância do teste SW (valor-p) deve ser analisado face a um valor de significância pré-estipulado para o estudo (α , neste caso 0.05). Se o valor-p for inferior a α , então não se pode concluir que a variável segue uma distribuição normal (Patrício, Loureiro, & Caramelo, 2017).

A distribuição das variáveis implica também a escolha do coeficiente de correlação a ser aplicado. A correlação de variáveis normais pode ser calculada utilizando o coeficiente de Pearson, enquanto que quando pelo menos uma das variáveis não segue distribuição normal, deve ser utilizado o coeficiente de Spearman (Patrício, Loureiro, & Caramelo, 2017). Neste estudo foi utilizado o coeficiente de Spearman para correlacionar a pré-eclampsia e as variáveis ambientais, pois a variável da pré-eclampsia não apresenta distribuição normal.

O valor do coeficiente obtido quantifica a correlação entre as variáveis, segundo mostra a Tabela 3. Apenas coeficientes com valor-p abaixo da significância estipulada para o estudo devem ser considerados significativos e valores-p iguais ou inferiores a 0.001 devem ser considerados muito significativos (Patrício, Loureiro, & Caramelo, 2017).

Tabela 3 - Força da correlação entre variáveis

Coefficiente de correlação	Força da relação
]0, 0.2[Muito fraca
[0.2, 0.4[Fraca
[0.4, 0.6[Moderada
[0.6, 0.8[Forte
[0.8, 1]	Muito forte

Quando as variáveis se correlacionam, pode ser possível prever o valor da pré-eclampsia a partir dos valores da variável com a qual se correlaciona, usando métodos de regressão. Quando é usada apenas uma variável independente, usa-se o método de regressão linear simples, que procura uma relação linear entre a variável independente e a variável de resposta. Quando são usadas duas ou mais variáveis independentes para prever o valor da variável dependente, usa-se o método de regressão linear múltipla, que estabelece uma relação linear entre as variáveis independentes e a variável de resposta (Dawson & Trapp, 2003).

A relação estabelecida pela regressão linear simples entre a variável dependente e a variável independente recorre ao método dos mínimos quadrados para estimar os parâmetros da ordenada na origem (α) e do declive da reta linear (β) de melhor ajuste, originando uma equação de reta (1) (Guimarães & Cabral, 1997). Este método procura obter uma reta que minimize os resíduos, isto é, a soma dos quadrados da distância à reta dos valores observados.

$$Y = \alpha + \beta * X \quad (1)$$

A análise espacial foi utilizado o ArcGis para criar mapas temáticos da pré-eclampsia. Os dados foram representados anualmente por distrito e foram criados layouts de todos os mapas realizados.

Para realizar uma análise temporal foi usado o Matlab 2017a, usando uma rotina de Matlab "plots.m" (anexo I) para analisar a evolução das variáveis ao longo do período de estudo. Essa rotina cria gráficos com a evolução de todas as variáveis ao longo do tempo.

3.2.2. Dados da QualAr

Todo o processamento em lote foi realizado usando o Matlab 2017a. O objetivo final deste segmento de processamento foi de obter dados regulares no tempo e no espaço de todas as variáveis, podendo estes estar referidos a distritos ou concelhos, com um intervalo diário, semanal, quinzenal ou até mensal. Para tal, foi utilizado o kriging como método de interpolação espacial de modo a regularizar os dados no espaço, e a análise estatística de forma a regulariza-los no tempo através de médias mensais.

Inicialmente, todos os ficheiros excel com os dados obtidos através da plataforma da QualAr foram normalizados. Inicialmente, os ficheiros apresentavam apenas as estações nas quais tinham sido obtidas leituras, não sendo estas coincidentes em todos os ficheiros, nem apresentadas na mesma ordem. Por isso, foi criado um formato universal em que na primeira coluna foram representadas as horas dos dias do ano em questão, e na primeira linha foram escritas todas as estações nas quais existiam dados, por ordem alfabética. Para facilitar a localização e a identificação inequívoca das estações, foram acrescentadas respetivamente na segunda e terceira linhas a localidade e o código da estação em questão (Figura 7). No final da normalização dos ficheiros, foi criado um ficheiro *Excel* para cada poluente, em que, para cada ano desse poluente, foi criada uma folha de *Excel* com o poluente e o ano em questão. Este processo foi realizado manualmente, mas permitiu otimizar todos os próximos passos.

	A	B	C	D
1	Data	Afonso Henriques-Águas Santas	Afonso III	Alfragide/Amadora
2	(Hora UTC)	Mala	Faro	Amadora
3		1049	5006	3082
4	01/01/2000 00:00			
5	01/01/2000 01:00			
6	01/01/2000 02:00			
7	01/01/2000 03:00			
8	01/01/2000 04:00			
9	01/01/2000 05:00			
10	01/01/2000 06:00			
11	01/01/2000 07:00			
12	01/01/2000 08:00			
13	01/01/2000 09:00			
14	01/01/2000 10:00			
15	01/01/2000 11:00			
16	01/01/2000 12:00			
17	01/01/2000 13:00			
18	01/01/2000 14:00			
19	01/01/2000 15:00			
20	01/01/2000 16:00			
21	01/01/2000 17:00			
22	01/01/2000 18:00			
23	01/01/2000 19:00			
24	01/01/2000 20:00			
25	01/01/2000 21:00			
26	01/01/2000 22:00			
27	01/01/2000 23:00			

Figura 7 - Formato dos ficheiros *Excel* dos poluentes

De seguida, foi criada uma rotina para obter as estatísticas diárias dos poluentes. Esta rotina está anexada como “*medidas_poluentes_diarias.m*” (anexo I). Uma vez que os ficheiros se encontravam já normalizados, a rotina pode ser aplicada a todos os ficheiros em simultâneo, resultando em novos ficheiros *Excel*, em que cada ficheiro tinha os valores dos poluentes com uma resolução temporal horária, sendo estes obtidos conforme anteriormente descrito, tendo sido sumariadas em termos da sua média, máximo, mínimo e hora correspondente ao máximo.

A partir destes ficheiros, foi criada uma rotina para efetuar o kriging. No entanto, antes de poder aplicar o kriging, foi necessário criar uma grelha regular que permitisse, posteriormente, interpolar os valores para os pontos dessa grelha, obtendo uma malha de dados regular. Foi escolhida uma malha regular para permitir, mais tarde, facilitar o tratamento da informação obtida, de forma a poder ser selecionado o nível espacial de análise (por exemplo, analisar os dados num só distrito ou em vários em simultâneo). Selecionou-se o canto superior esquerdo como ponto inicial e criou-se uma matriz de coordenadas com um espaçamento de 250 metros usando uma rotina para o efeito. Ao estar sobre a forma de matriz, a sua posterior utilização na rotina de kriging estava condicionada, uma vez que esta disposição dificulta a leitura de todos os pares de coordenadas dentro da grelha. De forma a rentabilizar o processamento do kriging, foram selecionadas apenas as estações meteorológicas de Aveiro, Braga e Porto e em seu redor, até 15 km das fronteiras dos distritos. Para tal, foi efetuado um *buffer* em redor dos três distritos com uma distância constante de 15 km e, posteriormente, um *intercept* com a *shapefile* que continha as estações. Como segunda tentativa de criação da grelha, foi utilizado um plugin do QGIS, “*vector grid*”, que permite definir o espaçamento da grelha e a extensão para a criação da mesma, tendo esta extensão sido definida utilizando uma camada vetorial que continha os três distritos (Figura 8). Usando a grelha criada como *shapefile* pelo QGIS e os ficheiros *Excel* com os dados diários dos poluentes, bem como as coordenadas das estações meteorológicas, foi possível aplicar a rotina “*kriging_qualar.m*” (anexo I) para interpolar os dados dos poluentes. Os ficheiros resultantes foram ficheiros *Excel* com o nome do poluente, o ano e sufixo “KRIGING”, com cada ficheiro contendo uma lista de coordenadas latitude e longitude com um valor associado, correspondente à interpolação por kriging dos valores medidos nas estações meteorológicas.

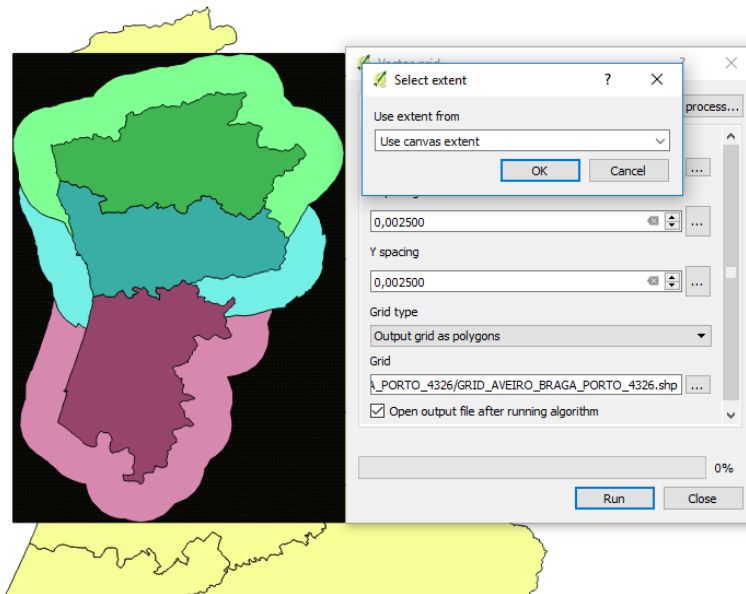


Figura 8 - Criação de grelha regular de interpolação para kriging

Uma vez que a interpolação foi feita para os três distritos, separaram-se todos os pontos da grelha correspondentes a cada distrito, efetuando um *intercept* da grelha com a CAOP de cada um dos distritos e esta foi exportada para *Excel*, obtendo assim todos os pares de coordenadas pertencentes a cada distrito. As *shapefiles* obtidas foram convertidas para *Excel* usando a rotina “*shp_to_xls.m*” (anexo I), de forma a permitir aceder aos pares de coordenadas de cada ponto da grelha. Usando essas coordenadas e a rotina “*clip_stats_qualar.m*” (anexo I) foi criada uma nova variável com os valores dos poluentes para os pontos da grelha de cada distrito. Para executar esta rotina, foi utilizada a rotina “*coordenadas_clip.m*” (anexo I) para obter os pares de coordenadas comuns entre os ficheiros dos poluentes e as grelhas de cada distrito. A partir dos valores dos poluentes em cada distrito, foram calculadas a média e o desvio padrão de todos os valores de cada mês e cada poluente através da rotina “*stats_mensais_qualar.m*” (anexo I) e foi criado um ficheiro *Excel* com estes dados.

3.2.3. Dados de satélite

Os dados de satélite utilizados provêm de três produtos distintos, com características também distintas, pelo que foi necessário utilizar diferentes métodos para cada processamento. As etapas de processamento estão sucintamente representadas na figura abaixo (Figura 9).

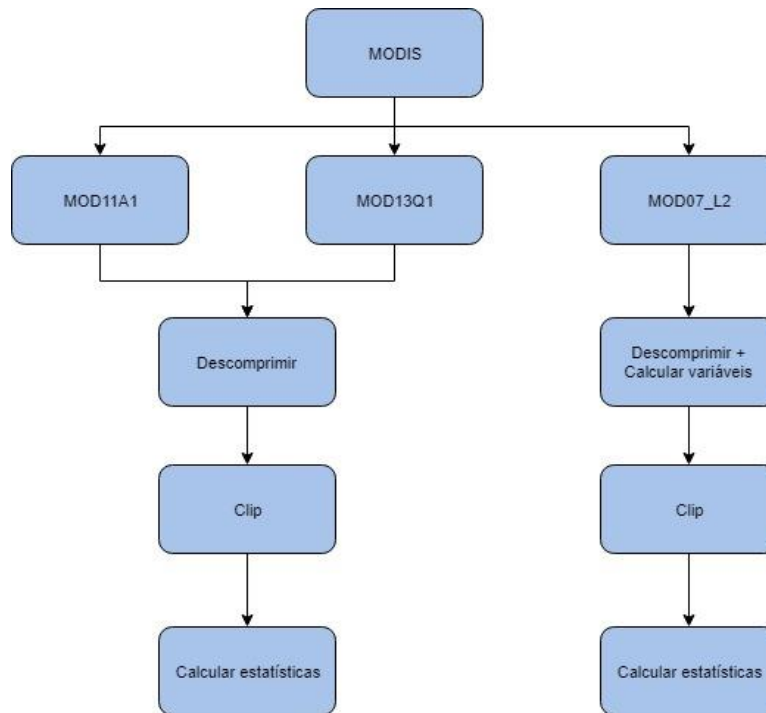


Figura 9 - Esquema do processamento efetuado dos produtos MODIS

Começando por descrever o processamento do produto MOD11A1, semelhante ao processamento do produto MOD13Q1, a primeira etapa foi a descompressão dos ficheiros, convertendo-os do formato .hdf original para o formato tif. Para tal, foi utilizada a linha de comandos OSGeo Shell e o comando *gdal_translate*, que possibilita, com a opção *-sds*, a conversão de todas as camadas de uma imagem em formato .tif. Por exemplo, uma linha de comando que pode ser aplicada quer a uma imagem do produto MOD11A1, quer a uma imagem do produto MOD13Q1 é da forma:

```
gdal_translate -sds filename.hdf filename.tif
```

Depois de descomprimidas, são originadas tantas imagens como as camadas anteriormente comprimidas. A cada imagem resultante da descompressão, é dado um sufixo de 01 a 12, em que cada sufixo representa o número da camada enquanto a imagem estava comprimida. Para saber qual a camada correspondente à variável de interesse, ou seja, correspondente à LST no caso do produto MOD11A1 e ao NDVI no caso do MOD13Q1, foi utilizado o comando *gdalinfo* na linha de comandos OSGeo Shell. Ambas as variáveis estavam armazenadas como a primeira camada no ficheiro .hdf, pelo que apenas foram mantidas as imagens com sufixo 01 e todas as restantes foram eliminadas. Após todas as imagens correspondentes à LST e ao NDVI serem selecionadas, foi feito um *clip* para os distritos de Aveiro, Braga e Porto

usando uma *shapefile* previamente cortada contendo apenas o limite exterior de cada distrito. Foi novamente utilizada a linha de comandos OSGeo Shell, desta vez recorrendo ao comando *gdalwarp* que, com a opção *-cutline* permite selecionar uma *shapefile* como região de corte de uma determinada imagem. A linha de comando utilizada e aplicável a todos os produtos é do género:

```
gdalwarp -cutline shapefile.shp -crop_to_cutline -dtsalpha  
in_filename.tif out_filename.tif
```

Quer para a descompressão das imagens, quer para efetuar o *clip* das mesmas, foram criados ficheiros *batch* para automatizar os processos. Feito o *clip*, todas as imagens se sobrepõem perfeitamente, pelo que é possível recorrer apenas a métodos matemáticos para calcular as estatísticas finais das variáveis. Por isso, foi utilizado o software Matlab. Foi criada uma rotina para processar as imagens do produto MOD11A1 chamada “*MOD11A1_3DI.m*” (anexo I) e uma semelhante para o produto MOD13Q1, com o nome de “*MOD13Q1_3DI.m*” (anexo I). Ambas as rotinas importam os ficheiros *.tif* sob a forma de uma matriz com uma matriz. Uma vez que cada imagem contém apenas dados do respetivo distrito, não é necessário importar a georreferenciação das mesmas. Após importadas todas as imagens, os valores são formatados como *double* e os valores correspondentes a NaN assim associados. Posteriormente, é aplicado o fator escala descrito em cada produto (0.02 no caso do MOD11A1 e <0.0011 no caso do MOD13Q1) e, no caso da LST, a temperatura é convertida de graus Kelvin para graus Celsius. Calculadas as médias respetivas, os resultados foram guardados num ficheiro *Excel* e posteriormente copiados para o *Excel* das variáveis finais anteriormente falado.

O produto MOD07_L2 não pôde ser tratado da mesma forma que os restantes dois pois cada operação realizada, mesmo que simplesmente descomprimir os ficheiros corrompia os ficheiros, dando origem apenas a valores NaN em todas as imagens, ou a perda de sistema de referenciação, impossibilitando o aproveitamento da informação geográfica. Este erro pode-se dever a erros durante o download, embora não tenha sido solucionado ao repetir o processo. Por isso, foi necessário criar uma rotina em Matlab para proceder à descompressão dentro da própria rotina (“*RH_SP_calc.m*”, (anexo I)). Nesta rotina, foi criado um ciclo para todos os ficheiros *hdf*, em que, para cada ficheiro, foram executadas diversas operações. Em primeiro lugar, utilizando o comando *hdfread* e usando o nome das variáveis de interesse, neste caso, a pressão atmosférica (SP), a temperatura da superfície (ST) e o perfil da temperatura do ponto de orvalho (DT); foram

descomprimidas essas mesmas variáveis e importadas sobre a forma de matrizes. Foram também importadas a latitude e a longitude para possibilitar a georreferenciação das variáveis. A georreferenciação foi realizada usando um conjunto de comandos que permitem definir a zona UTM a partir da latitude e longitude fornecidas e converter as coordenadas geográficas em cartográficas a partir dessa projeção, possibilitando a criação de uma matriz R de georreferenciação a partir dos limites da imagem em coordenadas cartográficas e do seu tamanho em pixels. Criada a matriz de georreferenciação, foram aplicadas as devidas escalas e *offsets* a cada variável, descritos na Tabela 4. Para aplicar os respectivos fatores de escala e offset, foi utilizada a fórmula apresentada na equação 2, descrita nos metadados do ficheiro .hdf disponibilizados quando utilizado o comando *hdfinfo* no Matlab:

$$Value = scale_factor * (stored\ integer - add_offset) \quad (2)$$

Tabela 4 - Valores de escala e offset e respetivas unidades das variáveis extraídas do MOD07_L2

Variável	Escala	Offset	Unidades
Temperatura do ponto de orvalho	0.01	-15000	Kelvin
Pressão atmosférica	0.10	0	Hpa
Temperatura da superfície	0.01	-15000	Kelvin

A partir da variável DT foi calculada a pressão de vapor (VP) e a partir da ST foi calculada a pressão do vapor saturado (SVP) (Sampaio, 2012), usando as fórmulas apresentadas nas equações (3.1) e (3.2), respetivamente.

$$VP = 6.11 * 10^{\frac{7.5*DT}{237.7+DT}} \quad (3.1)$$

$$SVP = 6.11 * 10^{\frac{7.5*ST}{237.7+ST}} \quad (3.2)$$

Usando estas novas variáveis, é possível calcular a humidade relativa (RH), em percentagem, através da equação (3.3).

$$RH = \frac{VP * 100}{SVP} \quad (3.3)$$

Por fim, foi criado um ficheiro .tif para cada uma das variáveis RH e SP com o auxílio da matriz de georreferenciação anteriormente criada, no sistema de

coordenadas UTM zona 29N. De seguida, foi feito um *clip* de todos os ficheiros .tif obtidos, à semelhança do que já foi descrito para os produtos MOD11A1 e MOD13Q1, à exceção de que a *shapefile* utilizada neste processo foi primeiro convertida através do código EPSG 32629, correspondente à projeção UTM 29N para evitar problemas de compatibilidade. Depois de realizado o clip, é possível calcular as médias e os desvios padrão de cada imagem e, posteriormente, de todas as imagens de cada mês ao longo dos anos de estudo. Este processo foi feito em Matlab, com a rotina “*RH_SP_stats.m*” (anexo I). Os resultados foram guardados em formato .mat de forma a reduzir o tempo de processamento e posteriormente convertidos em excel através da rotina “*mat_to_xls.m*” (anexo I). Por fim, foram acrescentados ao ficheiro excel com os resultados finais.

3.2.4. Dados de pré-eclampsia

Os dados iniciais de pré-eclampsia estavam sob a forma de ficheiro *Excel*, com dados para cada mês ao longo dos anos 2001 a 2015 e por cada distrito de Portugal continental. Utilizando dados de nascimentos totais por mês em todo o país, divididos por distritos, foi calculada uma taxa de pré-eclampsia por nascimentos totais usando a equação 4. Este cálculo foi aplicado a todos os distritos de Portugal continental.

$$PE(\%) = \frac{N \text{ casos}_{\text{distrito}} * 1000}{N \text{ nascimentos}_{\text{distrito}}} \quad (4)$$

3.2.5. Dados de ocupação do solo

Inicialmente, foi obtida a CLC de Portugal continental a partir da CLC da Europa. Para tal, a CAOP foi convertida para um sistema de coordenadas mais adequado no QGIS, com o código EPSG 4326. Em seguida, extraiu-se a parte da CLC que sobrepunha com a CAOP usando a função “*Clip*” do QGIS. Por fim, a CLC resultante, daqui para a frente denominada de CLC_PT, foi convertida no sistema de coordenadas militar, por ser mais conveniente para cálculos posteriores.

Através do software ArcGIS, a CLC_PT foi intercetada com a CAOP, dando origem a uma nova camada cuja tabela de atributos contém os atributos de ambas as camadas. Foram, ainda, calculadas as áreas dos novos polígonos através da opção “*calculate geometry*”. Com base nas áreas totais dos distritos, foram calculadas as percentagens, em área, de cada um dos níveis principais de ocupação do solo de cada distrito.

4. Resultados

4.1. Análise da normalidade

O histograma da mostra claramente que a pré-eclampsia não apresenta uma distribuição normal. Os restantes gráficos estão apresentados no anexo II.

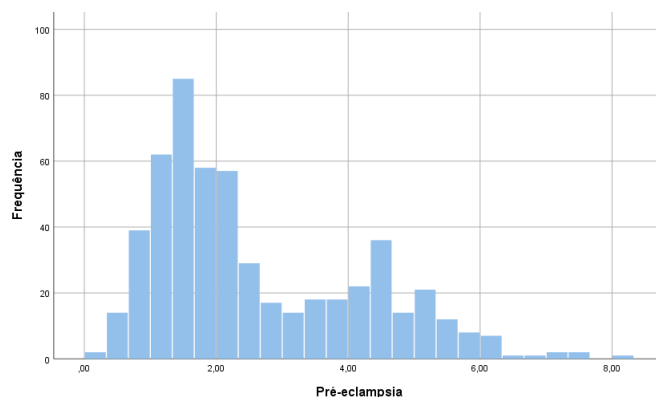


Figura 10 - Histograma da pré-eclampsia (todos os distritos)

De modo a complementar a análise dos histogramas, foi feito o teste de normalidade Shapiro-Wilk cujos resultados estão na tabela 5, em que N representa o tamanho da amostra e SW o valor do teste obtido. O valor-p é o valor a ser comparado com a significância de 0.05 definida previamente. Como é possível observar a partir dos valores-p obtidos, nenhuma das variáveis apresenta uma distribuição normal.

Tabela 5 - Resultados do teste Shapiro-Wilk efetuado a todas as variáveis (todos os distritos)

	N	SW	Valor-p
PE	540	0.905	<0.001
LST	540	0.941	<0.001
SP	540	0.990	0.001
RH	540	0.985	<0.001
NDVI	540	0.989	0.001
C₆H₆	215	0.927	<0.001
CO	537	0.915	<0.001
NO	540	0.747	<0.001
NO₂	540	0.946	<0.001
O₃	540	0.988	<0.001
PM₁₀	539	0.903	<0.001
PM_{2.5}	387	0.716	<0.001
SO₂	540	0.834	<0.001

Separando as variáveis por distritos, as estatísticas das mesmas alteram-se. Assim, os resultados da significância do teste Shapiro-Wilk em cada distrito estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados do teste Shapiro-Wilk efetuado a todas as variáveis (por distrito)

	N	Valor-p		
		Aveiro	Braga	Porto
PE	180	0.037	0.164	0.001
LST	180	<0.001	<0.001	<0.001
SP	180	0.090	.0190	0.019
RH	180	0.003	0.080	0.028
NDVI	180	0.059	<0.001	0.103
C₆H₆	71	<0.001	0.007	0.003
CO	179	<0.001	<0.001	<0.001
NO	180	<0.001	<0.001	<0.001
NO₂	180	<0.001	<0.001	<0.001
O₃	180	0.096	0.084	0.142
PM₁₀	179	<0.001	<0.001	<0.001
PM_{2.5}	129	<0.001	<0.001	<0.001
SO₂	180	<0.001	<0.001	<0.001

A partir destes resultados, é possível observar que a pré-eclampsia apresenta uma distribuição normal considerando apenas os dados do distrito de Braga (Figura 11). Além da pré-eclampsia, também a pressão atmosférica, a humidade relativa e o ozono têm distribuição normal quando considerados apenas os valores para Braga.

Considerando os dados do distrito de Aveiro, apenas a pressão atmosférica, o NDVI e o ozono apresentam distribuição normal. No distrito do Porto, só o NDVI e o ozono é que apresentam uma distribuição normal. Todas as restantes variáveis continuam sem apresentar distribuição normal. Devido às diferentes distribuições encontradas, todas as variáveis foram consideradas como tendo distribuição não normal, de modo a fazer um único tipo de processamento estatístico.

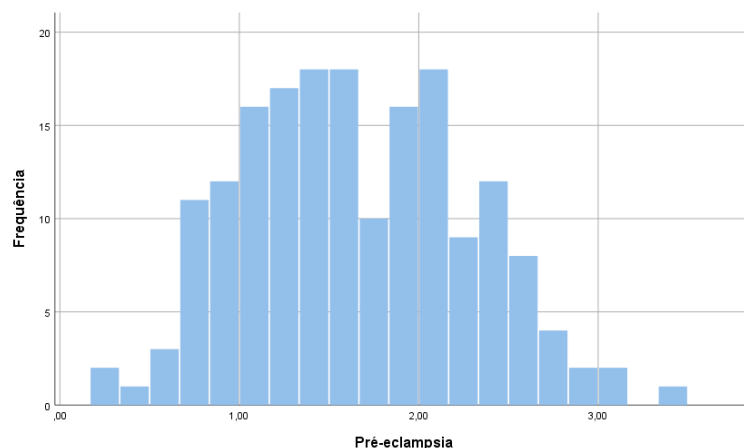


Figura 11 - Histograma da pré-eclampsia (Braga)

4.2. Estatísticas descritivas

A Tabela 7 resume as estatísticas descritivas de todas as variáveis envolvidas no estudo, tendo em conta a sua distribuição.

Tabela 7 - Estatísticas descritivas de todas as variáveis (todos os distritos)

Parâmetro	Unidades	N	Mediana	Amplitude interquartil
PE	‰	540	2.04	2.44
LST	°C	540	19.21	14.28
SP	Hpa	540	2587.95	735.06
RH	%	540	9.08	3.80
NDVI		540	0.59	0.05
C ₆ H ₆	µg/m ³	215	1.900	1.98
CO	mg/m ³	537	388.19	255.74
NO	µg/m ³	540	9.54	10.33
NO ₂	µg/m ³	540	20.38	12.25
O ₃	µg/m ³	540	50.72	22.89
PM ₁₀	µg/m ³	539	25.51	19.97
PM _{2.5}	µg/m ³	387	8.14	8.43
SO ₂	µg/m ³	540	2.93	2.71

Analisando os valores obtidos, a coluna correspondente ao N indica o número de leituras de cada variável. É assim possível observar que a maioria dos parâmetros considerados foram medidos durante todos os meses do estudo (180 meses, num total de 3 distritos). O poluente menos medido foi o benzeno (C₆H₆) seguido do material particulado PM_{2.5}, enquanto que o monóxido de carbono (CO) e o material particulado PM₁₀ apresentaram poucos períodos de falhas. Por vezes, estas falhas deveram-se a

leituras insuficientes para proceder à aplicação do kriging, e por outras à ausência de medições.

Outra conclusão que é possível extrair das estatísticas descritivas é de que os valores medidos para os poluentes se encontram dentro dos limites legais estipuladas pelo DL102/2010 e apresentadas anteriormente na Tabela 1. Embora estes limites sejam considerados limites de exposição médios, estes são comparados com as medianas pois esta é a medida que melhor descreve os dados, tendo em conta a sua distribuição. Por exemplo, para o NO₂, foi obtido um valor mensal de aproximadamente 20,38 µg/m³, que reduzindo a mg/m³, dá um valor de 0.02038, abaixo limite anual de 0.040 mg/m³ deste poluente. Também é possível observar que o CO é a substância mais abundante na atmosfera dentro das estudadas.

Analisando posteriormente os distritos em separado, foram obtidas as seguintes estatísticas. Aqui, torna-se claro que a taxa de pré-eclampsia é bastante superior no distrito do porto. Quanto aos poluentes, não há, geralmente, valores diferentes entre os distritos.

Tabela 8 - Estatísticas descritivas de todas as variáveis (por distrito)

	N	AVEIRO		BRAGA		PORTO	
		Mediana	Amp. IQ.	Mediana	Amp. IQ.	Mediana	Amp. IQ.
PE	180	1.57	0.74	1.60	0.94	4.45	1.37
LST	180	19.10	13.66	19.11	14.39	19.61	14.92
SP	180	2451.16	723.41	2639.46	721.71	2649.78	782.34
RH	180	8.71	4.03	9.26	3.63	9.20	3.94
NDVI	180	0.59	0.04	0.61	0.04	0.57	0.04
C₆H₆	71	1.34	1.22	2.66	2.33	2.11	1.90
CO	179	361.27	213.26	422.87	288.44	386.85	256.37
NO	180	9.38	9.78	10.67	12.35	9.46	10.60
NO₂	180	18.91	10.60	20.79	12.59	21.74	12.91
O₃	180	49.61	22.43	52.34	24.08	49.76	22.29
PM₁₀	179	25.80	19.32	24.58	19.78	25.88	21.54
PM_{2.5}	129	9.62	9.53	7.68	6.89	7.92	8.93
SO₂	180	3.07	3.07	2.90	2.72	3.06	2.65

4.3. Análise espacial

Inicialmente, foi mapeada a variável da pré-eclampsia numa série de mapas temáticos ao longo do tempo. Como exemplo, são aqui apresentados os mapas respetivos a 2001, 2007 e 2015 (Figura 12), sendo clara a variação ao longo do tempo desta variável. Por exemplo, em 2001, houve mais casos de pré-eclampsia no distrito de Setúbal do que em 2007, mas em 2007 houve mais casos de pré-eclampsia na região do Algarve do que em 2015. No entanto, em qualquer ano, é notório que a maior taxa de casos ocorre nos distritos de Lisboa e do Porto, seguidos de Braga e Aveiro, sugerindo a influência de fatores externos relacionados com uma maior densidade populacional. Os restantes mapas da pré-eclampsia tendo em conta todo o país são apresentados no anexo III.

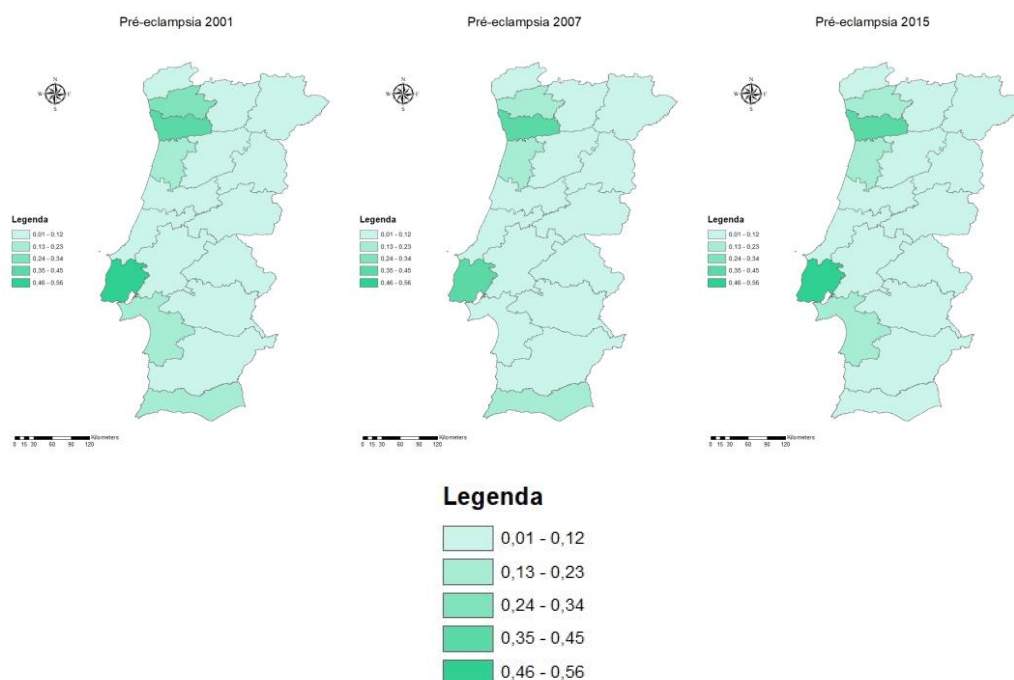


Figura 12 - Mapas de pré-eclampsia em Portugal continental em 2001, 2007 e 2015, respetivamente, e respetiva legenda

Focando apenas nos distritos estudados, foi feita uma análise espacial dos poluentes medidos, bem como das restantes variáveis independentes. Na Figura 13, são apresentados os mapas do SO₂ em 2001, 2007 e 2015. Estes mapas foram escolhidos por demonstrar o decréscimo do poluente ao longo do período de estudo.

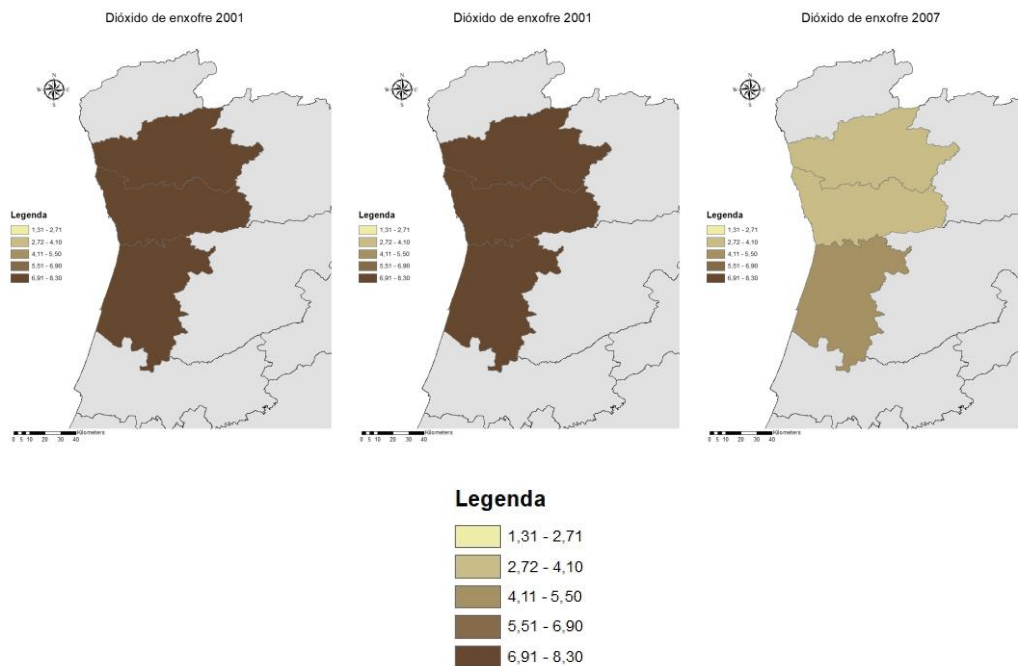


Figura 13 - Mapas das variáveis em estudo nos distritos de Aveiro, Braga e Porto e respetiva legenda

Os restantes mapas encontram-se no anexo III. Ao analisá-los, é possível verificar a variabilidade dos dados. Por norma, embora o distrito do Porto apresente maior pernilagem de casos de pré-eclampsia, não é visível nenhum padrão espacial nas restantes variáveis.

4.4. Análise temporal

Foi também realizada uma análise temporal das variáveis, tendo sido obtidos os seguintes gráficos, em que os anos se podem distinguir entre as cores azul e cor de rosa.

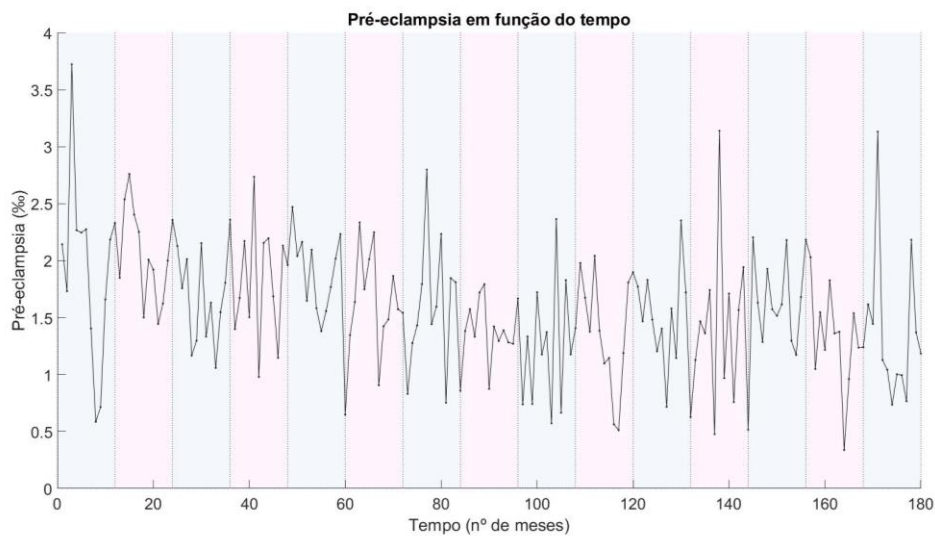


Figura 14 - Gráfico da pré-eclampsia em função do tempo

No gráfico da Figura 14 é possível observar a variação da pré-eclampsia ao longo do tempo do estudo, sendo possível constatar que a per milagem média de incidência desta doença diminuiu ao longo do tempo de forma aproximadamente linear, com uma diminuição de 0.005 casos em cada 1000 nascimentos por mês.

Nos gráficos da Figura 15 estão representadas algumas das variáveis independentes consideradas ao longo deste estudo. Os gráficos com todas as restantes variáveis encontram-se no anexo II. É possível observar que o CO diminuiu ao longo do período do estudo com uma taxa de menos 1.347 mg/m³ por mês, e são visíveis oscilações sazonais semelhantes nas variáveis, principalmente na temperatura, pressão e humidade. No gráfico do benzeno são evidentes os dados em falta que condicionam toda a análise.

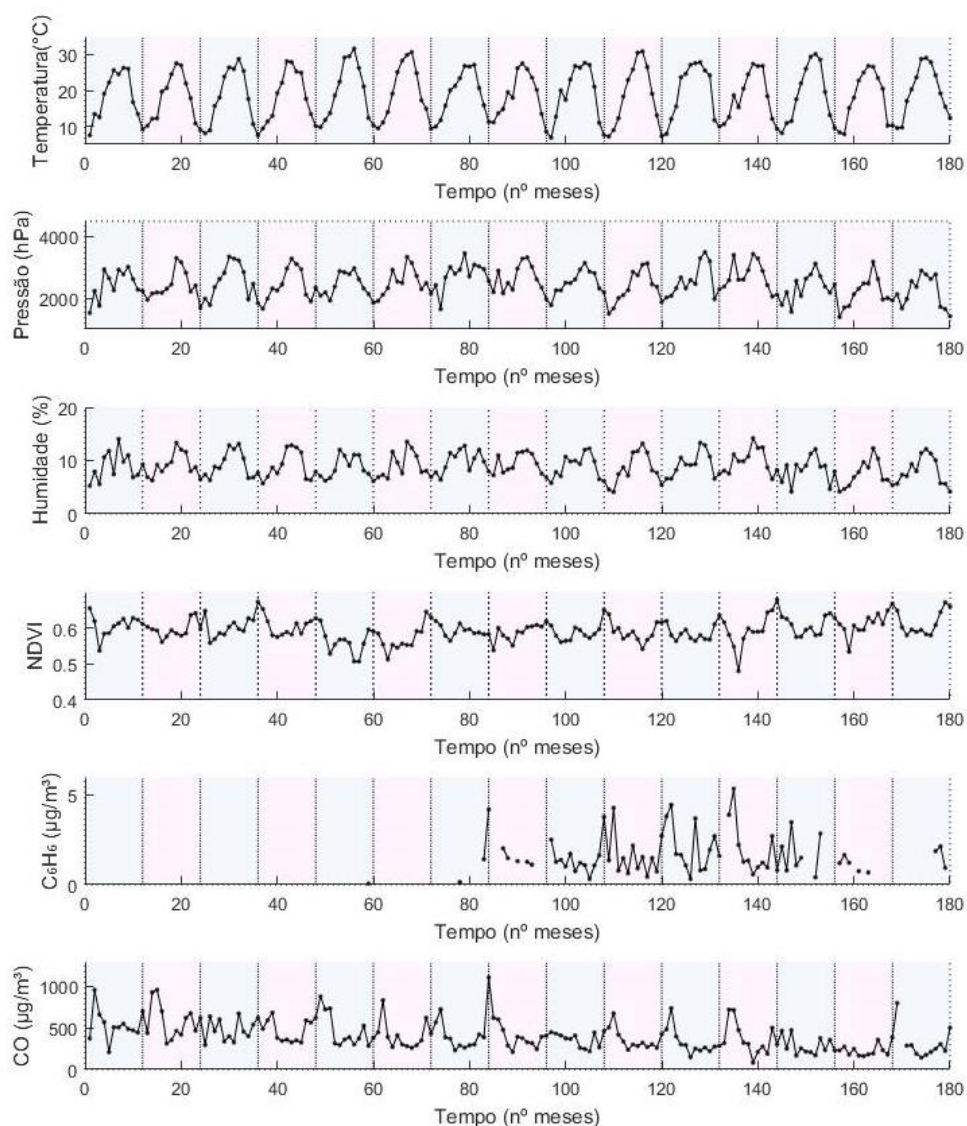


Figura 15 - Gráficos das variáveis independentes (temperatura, pressão atmosférica, humidade relativa, NDVI, benzeno e monóxido de carbono, respetivamente)

Os valores dos coeficientes de correlação de todas as variáveis em relação ao tempo, com os respectivos valor-p estão resumidos na Tabela 9. Com o intuito de averiguar se as relações encontradas entre as variáveis eram lineares, foi calculado também o coeficiente de regressão linear e o respectivo valor-p.

Tabela 9 - Coeficientes de correlação e de regressão linear das variáveis em estudo em relação ao período e respectivas significâncias

	Coeficiente de correlação (ρ)	Valor-p	Coeficiente de regressão linear	Valor-p
PE	-0.209	<0.001	-0.161	<0.001
LST	0.032	0.460	-	-
SP	-0.063	0.141	-	-
RH	-0.093	0.030	-0.108	0.012
NDVI	0.097	0.025	0.109	0.012
C₆H₆	-0.026	0.703	-	-
CO	-0.423	<0.001	-0.345	<0.001
NO	-0.409	<0.001	-0.307	<0.001
NO₂	-0.252	<0.001	-0.215	<0.001
O₃	0.002	0.963	-	-
PM₁₀	-0.517	<0.001	-0.508	<0.001
PM_{2.5}	-0.385	<0.001	-0.313	<0.001
SO₂	-0.441	<0.001	-0.470	<0.001

A partir dos valores obtidos é possível constatar que a correlação linear mais forte foi a das PM₁₀ em relação ao tempo de estudo, com um coeficiente de regressão de -0.508 muito significativo, demonstrando a sua diminuição ao longo do tempo. A temperatura, a pressão atmosférica, o benzeno e o ozono, não apresentam uma tendência de variação global no período estudado ($r_{LST} = 0.032$, $p_{LST} = 0.460$, $r_{SP} = -0.063$, $p_{SP} = 0.141$, $r_{C_6H_6} = -0.026$, $p_{C_6H_6} = 0.703$, $r_{O_3} = 0.002$, $p_{O_3} = 0.963$).

4.5. Análise da pré-eclampsia em função das variáveis ambientais

Os resultados obtidos para os coeficientes de correlação e as respectivas significâncias entre a pré-eclampsia e as variáveis ambientais estão sumariados na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficientes de correlação entre pré-eclampsia e as variáveis ambientais e respectivas significâncias estatísticas

	Coeficiente de correlação (ρ)	Significância (p)
LST	-0.092	0.032
SP	-0.026	0.547
RH	-0.044	0.302
NDVI	-0.414	<0.001
C₆H₆	0.126	0.064
CO	0.147	0.001
NO	0.108	0.012
NO₂	0.144	0.001
O₃	-0.110	0.011
PM₁₀	0.103	0.017
PM_{2.5}	0.021	0.675
SO₂	0.113	0.009

É possível observar que a SP, a RH, o C₆H₆ e as PM₁₀ não se correlacionam significativamente com a pré-eclampsia. Todas as outras variáveis se correlacionam, com a mais forte sendo o NDVI e a mais fraca a temperatura. A temperatura, o NDVI e o O₃ correlacionam-se negativamente com a pré-eclampsia, sendo que esta diminuiu em função destas variáveis, enquanto que as restantes variáveis se correlacionam positivamente. As relações entre a pré-eclampsia e algumas das variáveis independentes estão representadas nos gráficos da Figura 16 (os gráficos das restantes variáveis podem ser encontrados no anexo II).

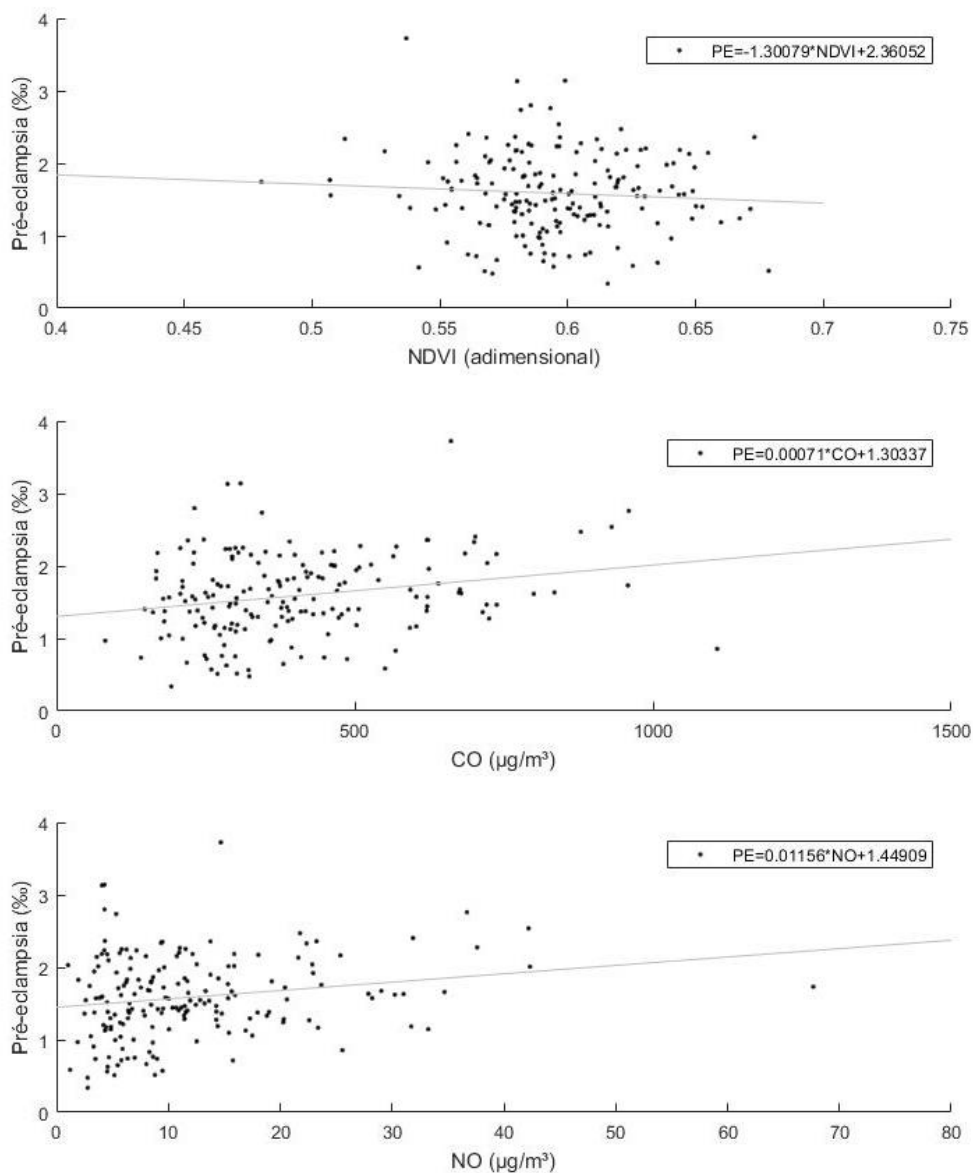


Figura 16 - Gráficos de dispersão de variáveis dependentes (NDVI, CO e NO) em função da pré-eclampsia e respetiva reta de regressão linear

No seguimento das correlações encontradas anteriormente, foi efetuada uma análise de regressão linear simples da pré-eclampsia em função de cada uma das variáveis ambientais, que são as independentes, pois assumimos que a pré-eclâmpsia depende do ambiente e não o inverso. Os valores dos coeficientes de regressão obtidos, bem como as respetivas significâncias estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Coeficientes de regressão linear de todas as variáveis independentes em função da pré-eclampsia e respectivas significâncias

	Coeficiente de regressão	Significância (p)
LST	-0.092	0.033
NDVI	-0.414	<0.001
CO	0.119	0.006
NO	0.075	0.080
NO2	0.125	0.004
O3	-0.113	0.008
PM10	0.091	0.035
SO2	0.081	0.061

Os resultados obtidos demonstram a existência de uma relação linear estatisticamente significativa entre a pré-eclampsia e a temperatura, o NDVI, o CO, o NO₂, o O₃ e as PM₁₀. O NDVI mostra a relação mais acentuada, sendo esta negativa ($\beta_{NDVI} = -0.414$). Também a temperatura e o ozono se relacionam negativamente com a pré-eclampsia ($\beta_{LST} = -0.092$, $\beta_{O_3} = -0.113$).

5. Discussão

Ao longo deste estudo foram encontrados vários obstáculos que moldaram a própria análise e respetivas metodologias. Inicialmente, era proposto realizar um estudo nacional que permitisse obter informações mais abrangentes e, talvez, mais precisas.

O primeiro obstáculo encontrado durante a fase inicial foi a elevada quantidade de dados, que originavam tempos de processamento extensos. De forma a contornar este problema, foi escolhido estudar apenas um distrito, selecionando o Porto como distrito de estudo. Ainda assim, alguns dos dados de deteção remota aparentavam estar corrompidos, perdendo sistemas de coordenadas quando se faziam operações como *clip* ou *raster calculator*.

Após testar várias metodologias para tentar contornar os problemas encontrados, principalmente durante o processamento do produto MOD07_L2, conseguiu-se converter os ficheiros *hdf* em variáveis concretas através do Matlab com o auxílio de uma função de projeção de coordenadas WGS84 em UTM.

Ultrapassado mais este obstáculo, realizou-se todo o processamento dos dados como referido na metodologia. Posteriormente, foram selecionados para análise os distritos de Aveiro e Braga. Esta decisão levou a um novo processamento, desta vez otimizado utilizando a linha de comandos OSGeo Shell e o Matlab. As rotinas foram então adaptadas para calcular as variáveis nos três distritos em separado e, em algumas, foi escolhido guardar os dados apenas em ficheiros *.mat* para reduzir os tempos de processamento.

Posto isto, as metodologias podem agora, de forma relativamente simples, ser aplicadas a outras unidades espaciais e até a outras variáveis.

Há, no entanto, uma outra condicionante encontrada ao longo do estudo relativa ao método de interpolação espacial (kriging). As estações meteorológicas encontram-se essencialmente concentradas nas grandes metrópoles, sendo escassas e, por vezes, inexistentes no interior do país. Esta distribuição irregular condiciona o kriging, na medida em que não há estações distribuídas por toda a área de Portugal, não havendo uma rede de interpolação com uma boa distribuição espacial. Esta problemática está ilustrada na Figura 17. Ao utilizar apenas os três distritos mencionados, foram usadas estações dentro dos mesmos, bem como as contidas num raio de 15 quilómetros.

Estações meteorológicas em Portugal

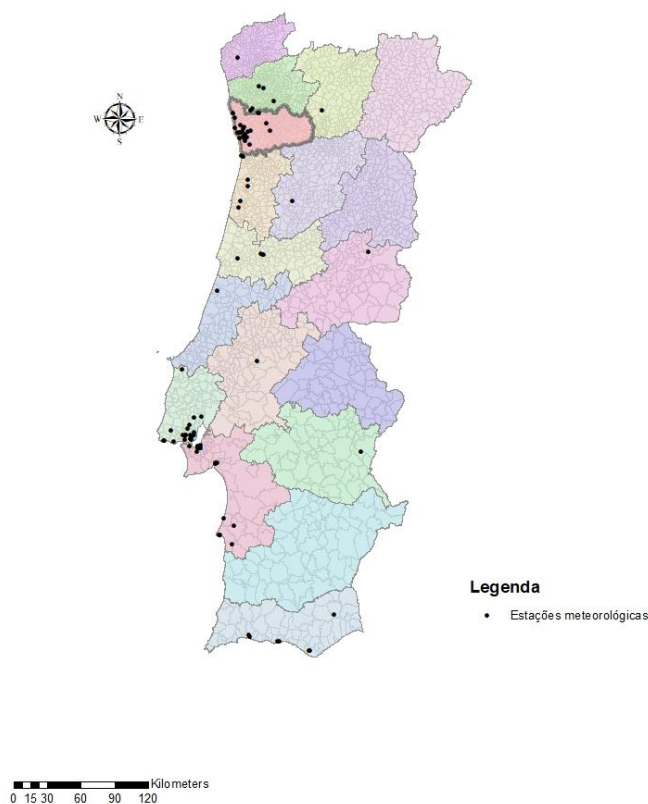


Figura 17 - Mapa de distritos com estações meteorológicas assinaladas e o distrito do Porto em destaque

Ultrapassados todos os obstáculos, foram obtidos resultados significativos, tendo sido encontradas associações com vários poluentes atmosféricos e até uma relação entre a pré-eclampsia e a temperatura, embora não tão significativa. A relação mais forte encontrada foi entre a pré-eclampsia e o NDVI e a humidade relativa e as $PM_{2.5}$ não parecem ter qualquer influência na doença.

Comparando os resultados obtidos com a literatura consultada, é possível constatar que nem sempre estes são concordantes. Por exemplo, o ozono mostrou estar negativamente relacionado com a taxa de pré-eclampsia, embora na literatura esta relação seja positiva. No entanto, Olsson, Mogren e Forsberg (2013) analisaram apenas a exposição durante o primeiro trimestre de gravidez. Os diferentes estudos que consideram as $PM_{2.5}$ constataram um aumento significativo da incidência de pré-eclampsia quando as grávidas estavam expostas a este poluente, enquanto que neste estudo não foram encontradas diferenças significativas associadas às $PM_{2.5}$, mas sim associadas às PM_{10} . Quanto ao monóxido de carbono, acerca do qual não foram encontradas, na literatura, relações com a pré-eclampsia, este estudo

obteve um aumento significativo da taxa de pré-eclampsia. Por fim, os estudos que analisaram os óxidos de azoto obtiveram um aumento dos casos de pré-eclampsia, conclusão esta idêntica à deste estudo. As diferenças encontradas podem dever-se às diferentes populações em estudo, metodologias e desenhos de estudo.

6. Conclusão

As associações entre as variáveis dependentes deste estudo e a pré-eclampsia foram variadas, mas em geral, expectáveis. A pré-eclampsia demonstrou estar relacionada com poluentes como o monóxido de carbono, o ozono, as PM10 e o dióxido de azoto e o índice de vegetação NDVI.

Apenas relativamente ao monóxido de carbono, não há estudos que sustentem a relação entre este poluente e a pré-eclampsia. No entanto, este poluente pode ser associado a zonas de tráfego intenso, levando não só à exposição de outros produtos da combustão, como as partículas, mas também a níveis de stresse superiores.

A maioria a bibliografia consultada corrobora, então, as restantes relações encontradas neste estudo. É de salientar, no entanto, que os dados foram considerados numa escala espacial e temporal com pouco detalhe, essencialmente devido ao número relativamente reduzido de casos de pré-eclâmpsia, e que os métodos dos estudos consultados não são, de todo, semelhantes ao deste, pelo que é necessária precaução quando comparados. Porém, todas as metodologias desenvolvidas poderão ser utilizadas noutras situações com diferentes escalas temporais e/ou espaciais. De notar ainda que serão necessários mais estudos nesta área, nomeadamente na análise de eventuais interações entre variáveis e estudos de causalidade.

Este estudo é o primeiro, de que tenha tido conhecimento, a utilizar dados de deteção remota para obter variáveis ambientais num estudo epidemiológico da pré-eclampsia. Este fator é inovador, e permite aceder a novas variáveis fidedignas relevantes, não só para este estudo, mas para uma variedade de estudos epidemiológicos.

7. Referências

- Dadvand, P., Figueras, F., Basagaña, X., Beelen, R., Martinez, D., Cirach, M., . . . Nieuwenhuijsen, M. J. (Novembro-Dezembro de 2013). Ambient Air Pollution and Preeclampsia: A Spatiotemporal Analysis. *Ambient Air Pollution and Preeclampsia: A Spatiotemporal Analysis*, pp. 1365-1371.
- Dawson, B., & Trapp, R. G. (2003). *Bioestatística Básica e Clínica* (3ª ed.). Rio de Janeiro: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda.
- Guimarães, R. C., & Cabral, J. A. (1997). *Estatística*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Jekel, J. F., Katz, D. L., & Elmore, J. G. (2005). *Epidemiologia, bioestatística e medicina preventiva* (2ª ed.). Artmed Editora.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective* (2ª ed.). Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.
- Lam, N. S.-N. (1983). Spatial Interpolation Methods: A Review. Em *The American Cartographer* (pp. 129-149).
- Malmqvist, E., Jakobsson, K., Tinnerberg, H., Rignell-Hydbom, A., & Rylander, L. (Abril de 2013). Gestational Diabetes and Preeclampsia in Association with Air Pollution at Levels below Current Air Quality Guidelines. *Environmental Health Perspectives*, pp. 488-493.
- Mausner, J. S., & Bahn, A. K. (1999). *Introdução à epidemiologia* (2ª ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Meetham, A. R. (1964). *Atmospheric Pollution Its Origins and Prevention* (3ª ed.). Oxford: Pergamon.
- Noller, K. L., Resseguie, L. J., & Voss, V. (Abril de 1996). The effect of changes in atmospheric pressure on the occurrence of the spontaneous onset of labor in term pregnancies. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, pp. 1192-1199.
- Olsson, D., Mogren, I., & Forsberg, B. (2013). Air pollution exposure in early pregnancy and adverse pregnancy outcomes: a register-based cohort study. *BMJ Open*.
- Patrício, M., Loureiro, M., & Caramelo, F. (2017). Avaliação de correlações. Em M. Patrício, M. Loureiro, & F. Caramelo, *Bioestatística com SPSS abordagem prática* (pp. 64-73). Lisboa: Plátano Editora.
- Patrício, M., Loureiro, M., & Caramelo, F. (2017). Estudo da normalidade. Em M. Patrício, M. Loureiro, & F. Caramelo, *Bioestatística com SPSS abordagem prática* (pp. 45-50). Lisboa: Plátano Editora.
- Patrício, M., Loureiro, M., & Caramelo, F. (2017). Introdução à estatística em perguntas. Em M. Patrício, M. Loureiro, & F. Caramelo, *Bioestatística com SPSS abordagem prática* (pp. 9-24). Lisboa: Plátano Editora.
- Rudra, C. B., Williams, M. A., Sheppard, L., Koenig, J. Q., & Schiff, M. A. (Junho de 2011). Ambient Carbon Monoxide and Fine Particulate Matter in Relation to Preeclampsia and Preterm Delivery in Western Washington State. *Environmental Health Perspectives*, pp. 886 - 892.
- Sampaio, D. A. (2012). Análise Espaço-Temporal da Asma em Portugal Continental com Base em Dados de Detecção Remota. Porto.
- Sibai, B., Dekker, G., & Kupfermanc, M. (2005). Pre-eclampsia. *Lancet*.

Wu, J., Ren, C., Delfino, R. J., Chung, J., Wilhelm, M., & Ritz, B. (Novembro de 2009). Association between Local Traffic-Generated Air Pollution and Preeclampsia and Preterm Delivery in the South Coast Air Basin of California. *Environmental Health Perspectives*, pp. 1773-1779.

Anexo I - Rotinas

A.medidas_poluentes_diarias.m

```
function [] = medidas_poluentes_diarias()

% Hernâni Gonçalves
% 26-09-2017
% MATLAB R2017a

% Leitura do ficheiro *.xlsx.
[medidas_2000, estacoes_2000, ~] = xlsread('C6H6.xlsx', 'C6H6_2000');

% Definições iniciais.
nr_leituras_dia = 24;
nomes_estacoes = estacoes_2000(1,2:end); % a 1ª coluna corresponde à
data
nr_estacoes = length(nomes_estacoes);
nr_dias_2000 = 366;

% Inicialização de variáveis.
media_diaria = zeros(nr_dias_2000, nr_estacoes);
min_diario = zeros(nr_dias_2000, nr_estacoes);
max_diario = zeros(nr_dias_2000, nr_estacoes);
hora_max_diario = zeros(nr_dias_2000, nr_estacoes);

% Estatísticas diárias das medidas.
for k = 1:nr_dias_2000
    k
    linha_inicio = nr_leituras_dia * (k-1) + 1;
    linha_final = nr_leituras_dia * k;
    var_aux = medidas_2000(linha_inicio:linha_final,:);

    for m = 1:nr_estacoes
        m
        media_diaria(k,m) = mean(var_aux(:,m));
        min_diario(k,m) = min(var_aux(:,m));
        max_diario(k,m) = max(var_aux(:,m));
        var2_aux = find((var_aux(:,m) == max_diario(k,m)));
        if (isempty(var2_aux) == 0) && (length(var2_aux) == 1) % para
já não é anotada a hora do máximo quando existe empate
            hora_max_diario(k,m) = var2_aux;
        else
            hora_max_diario(k,m) = NaN;
        end
    end
end

end

% Escrita das estatísticas diárias em ficheiro *.xlsx.
nome_xls = 'C6H6_STATS_2000.xlsx';
xlswrite(nome_xls, {'Dia do ano' nomes_estacoes{:}},
'Ano_2000_Media', 'A1')
xlswrite(nome_xls, [[1:nr_dias_2000]' media_diaria],
'Ano_2000_Media', 'A2')
```

```
xlswrite(nome_xls, {'Dia do ano' nomes_estacoes{:}},  
'Ano_2000_Minimo', 'A1')  
xlswrite(nome_xls, [[1:nr_dias_2000]' min_diario], 'Ano_2000_Minimo',  
'A2')  
xlswrite(nome_xls, {'Dia do ano' nomes_estacoes{:}},  
'Ano_2000_Maximo', 'A1')  
xlswrite(nome_xls, [[1:nr_dias_2000]' max_diario], 'Ano_2000_Maximo',  
'A2')  
xlswrite(nome_xls, {'Dia do ano' nomes_estacoes{:}},  
'Ano_2000_Hora_Max', 'A1')  
xlswrite(nome_xls, [[1:nr_dias_2000]' hora_max_diario],  
'Ano_2000_Hora_Max', 'A2')
```

B. kriging_qualar.m

```
% Mariana Oliveira
% MATLAB R2017a

tic
clear all; close all; clc;
format long g
%Coordenadas das estações
cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR

[coordenadas,TEXT,RAW]=xlsread('COORDENADAS_4326');
x=coordenadas(1:end,3);
y=coordenadas(1:end,2);

%Ler ficheiros Excel
cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\MEDIAS_MENSAIS_NORTE\INC
files=dir('*.xlsx');

%Ler grelha regular
GRID=shaperead('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\Coordinated_grid\GRID_AVEIRO
_BRAGA_PORTO_4326\GRID_AVEIRO_BRAGA_PORTO_4326.shp');
GRID_2=struct2cell(GRID);
GRID_3=GRID_2';
GRID_X_aux=GRID_3(:,6);
GRID_Y_aux=GRID_3(:,8);
GRID_X=cell2mat(GRID_X_aux);
GRID_Y=cell2mat(GRID_Y_aux);

for i=14
    file_name=files(i).name;

    %Ler ficheiro excel
    [var,TEXT_2,NAN]=xlsread(file_name);
    var(var==-99999)=NaN;
    var=var';

    %Obter nomes das estações e converter em coluna
    TEXT_2(1)=[];
    stations=TEXT_2;
    stations=stations';

    cont_linha=1;

    %Criar ciclo para cada linha
    for j=1:10
        z_values_aux=var(j,1:end);
        z_values=z_values_aux';

        %Criar variograma inicial
        v = variogram([x
y],z_values,'plotit',false,'maxdist',5000000);

        %Ajustar variograma
        [dum_1,dum_2,dum_3,vstruct] =
variogramfit(v.distance,v.val,[],[],[],[],'model','spherical','plotit',f
alse);
```

```

idx_nan = find(isnan(z_values) == 1);
x_krig = x;
y_krig = y;
x_krig(idx_nan) = [];
y_krig(idx_nan) = [];
z_values(idx_nan) = [];

[zi,kriging_values] =
kriging(vstruct,x_krig,y_krig,z_values,GRID_X,GRID_Y);

ano_mes= repmat([i+2009 j-1], length(zi),1);

%Save MAT
eval(['Media_F', num2str(j), '=zi;'])
var_name=['Media_F', num2str(j)];

nome_fx_mat = sprintf('%s_MEDIA.mat', file_name(1:end-5));
if exist(nome_fx_mat, 'file')==2
    save(nome_fx_mat, var_name, '-append')
else
    save(nome_fx_mat, var_name)
end

% Save Excel
% nome_fx_excel = sprintf('%s_KRIGING.xlsx', file_name(1:end-
5));
% xlswrite(nome_fx_excel,zi,j,'E1');
% xlswrite(nome_fx_excel,GRID_X,j,'C1');
% xlswrite(nome_fx_excel,GRID_Y,j,'D1');
% xlswrite(nome_fx_excel,ano_mes,j,'A1');

cont_linha=cont_linha + length(zi);
end
end
toc

```


C. shp_to_xls.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

clear all; close all; clc

%Ler shapefiles
AVEIRO=shaperead('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\Coordinated_grid\CLIP_GRID
S\CLIP_GRID_AVEIRO.shp');
BRAGA=shaperead('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\Coordinated_grid\CLIP_GRIDS
\CLIP_GRID_BRAGA.shp');
PORTO=shaperead('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\Coordinated_grid\CLIP_GRIDS
\CLIP_GRID_PORTO.shp');

%Ler coordenadas X e Y
AVEIRO_1=struct2cell(AVEIRO);
AVEIRO_2=AVEIRO_1';
AVEIRO_X_aux=AVEIRO_2(:,6);
AVEIRO_Y_aux=AVEIRO_2(:,8);
AVEIRO_X=cell2mat(AVEIRO_X_aux);
AVEIRO_Y=cell2mat(AVEIRO_Y_aux);

BRAGA_1=struct2cell(BRAGA);
BRAGA_2=BRAGA_1';
BRAGA_X_aux=BRAGA_2(:,6);
BRAGA_Y_aux=BRAGA_2(:,8);
BRAGA_X=cell2mat(BRAGA_X_aux);
BRAGA_Y=cell2mat(BRAGA_Y_aux);

PORTO_1=struct2cell(PORTO);
PORTO_2=PORTO_1';
PORTO_X_aux=PORTO_2(:,6);
PORTO_Y_aux=PORTO_2(:,8);
PORTO_X=cell2mat(PORTO_X_aux);
PORTO_Y=cell2mat(PORTO_Y_aux);

%Escrever ficheiros Excel
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_AVEIRO.xls
sx',{'X' 'Y'},1,'A1');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_AVEIRO.xls
sx',AVEIRO_X,1,'A2');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_AVEIRO.xls
sx',AVEIRO_Y,1,'B2');

xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_BRAGA.xls
x',{'X' 'Y'},1,'A1');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_BRAGA.xls
x',BRAGA_X,1,'A2');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_BRAGA.xls
x',BRAGA_Y,1,'B2');

xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_PORTO.xls
x',{'X' 'Y'},1,'A1');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_PORTO.xls
x',PORTO_X,1,'A2');
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_PORTO.xls
x',PORTO_Y,1,'B2');
```

D. clip_stats_qualar.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

clear all; close all; clc
tic
%Diretório
cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\KRIGING\EXCEL
files=dir('*.xlsx');

%Ficheiro CLIP com coordenadas de pontos dentro de cada distrito
CLIP_AVEIRO=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORDENADAS_CLIP','AVEIRO');
CLIP_BRAGA=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORDENADAS_CLIP','BRAGA');
CLIP_PORTO=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORDENADAS_CLIP','PORTO');

%Definir matrizes iniciais
AVEIRO_STATS=zeros(1278,1);
BRAGA_STATS=zeros(1278,1);
PORTO_STATS=zeros(1278,1);

%Ciclo para cada ficheiro
for i=1
    %Obter nome do ficheiro
    filename=files(i).name;

    %Ler ficheiro excel
    XLS=xlsread(filename);

    %Nova variável com todas as colunas para as linhas em comum
    XLS_NEW_A=XLS(CLIP_AVEIRO);
    XLS_NEW_B=XLS(CLIP_BRAGA);
    XLS_NEW_P=XLS(CLIP_PORTO);

    %Média e desvio padrão
    XLS_MEAN_A=mean(XLS_NEW_A);
    XLS_MEAN_B=mean(XLS_NEW_B);
    XLS_MEAN_P=mean(XLS_NEW_P);

    %Guardar estatísticas
    AVEIRO_STATS(i)=XLS_MEAN_A;
    %AVEIRO_STATS(1,2)=XLS_STD_A;

    BRAGA_STATS(i)=XLS_MEAN_B;
    %BRAGA_STATS(1,2)=XLS_STD_B;

    PORTO_STATS(i)=XLS_MEAN_P;
    %PORTO_STATS(1,2)=XLS_STD_P;

end

save('STATS_QUALAR_1.mat','AVEIRO_STATS','BRAGA_STATS','PORTO_STATS')
;
toc
```

E. coordenadas_clip.m

```
% Mariana Oliveira
% MATLAB R2017a

clear all; close all; clc
tic

%Ficheiro CLIP com coordenadas de pontos dentro de cada distrito
CLIP_AVEIRO=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_AVEIRO');
CLIP_BRAGA=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_BRAGA');
CLIP_PORTO=xlsread('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\COORD_STATS\COORD_PORTO');

cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\KRIGING\EXCEL

for idx = 1:12
    sheetname = ['Folha',num2str(idx)];

    %Ler ficheiro excel
    XLS=xlsread('MEDIA_C6H6_STATS_2009_KRIGING.xlsx',sheetname);

    %Obter colunas com coordenadas dos pontos
    XLS_aux=XLS(:,3:4);
    B = [];
    for k = 1:size(XLS_aux, 1)
        if ismember(XLS_aux(k,:), CLIP_AVEIRO, 'rows') == 1
            %if ismember(XLS_aux(k,:), CLIP_BRAGA, 'rows') == 1
            %if ismember(XLS_aux(k,:), CLIP_PORTO, 'rows') == 1
            B(end+1) = k;
        end
    end
end
end

B=B';

xlswrite('COORDENADAS_CLIP',B,'AVEIRO','A1');
%xlswrite('COORDENADAS_CLIP',B,'BRAGA','A1');
%xlswrite('COORDENADAS_CLIP',B,'PORTO','A1');
toc
```

F. stats_mensais_qualar.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

clear all; close all; clc

tic
cd 'C:\Users\pc\Desktop\EXCEL'
files=dir('C:\Users\pc\Desktop\EXCEL');

for i=3:numel(files)

    file_name=files(i).name;
    %Ler ficheiro excel
    [var,TEXT_2,NAN]=xlsread(file_name,'Media');
    var(var==-99999)=NaN;
    var=var(:,2:end);
    var_aux=var';

    %Anos não bissextos
    JAN_aux=var_aux(:,1:31);
    FEV_aux=var_aux(:,32:59);
    MAR_aux=var_aux(:,60:90);
    ABR_aux=var_aux(:,91:120);
    MAI_aux=var_aux(:,121:151);
    JUN_aux=var_aux(:,152:181);
    JUL_aux=var_aux(:,182:212);
    AGO_aux=var_aux(:,213:243);
    SET_aux=var_aux(:,244:273);
    OUT_aux=var_aux(:,274:304);
    NOV_aux=var_aux(:,305:334);
    DEZ_aux=var_aux(:,335:end);

    %Anos bissextos
    % JAN_aux=var_aux(:,1:31);
    % FEV_aux=var_aux(:,32:60);
    % MAR_aux=var_aux(:,61:91);
    % ABR_aux=var_aux(:,92:121);
    % MAI_aux=var_aux(:,122:152);
    % JUN_aux=var_aux(:,153:182);
    % JUL_aux=var_aux(:,183:213);
    % AGO_aux=var_aux(:,214:244);
    % SET_aux=var_aux(:,245:274);
    % OUT_aux=var_aux(:,275:305);
    % NOV_aux=var_aux(:,306:335);
    % DEZ_aux=var_aux(:,336:end);

    %Selecionar apenas estações na zona de interesse

    AUX=[1;6;8;9;10;13;16;17;26;27;28;29;30;32;34;38;39;43;44;45;46;47;50
    ;51;52;56;60;62;63;67;71;73;74;75;84;88;91;93;96;97;98];

    %Calcular em cada estação
    for j=1:numel(AUX)
        JAN_media=nanmean(JAN_aux(AUX(j)));
        FEV_media=nanmean(FEV_aux(AUX(j)));
        MAR_media=nanmean(MAR_aux(AUX(j)));
        ABR_media=nanmean(ABR_aux(AUX(j)));
```

```

MAI_media=nanmean(MAI_aux(AUX(j)));
JUN_media=nanmean(JUN_aux(AUX(j)));
JUL_media=nanmean(JUL_aux(AUX(j)));
AGO_media=nanmean(AGO_aux(AUX(j)));
SET_media=nanmean(SET_aux(AUX(j)));
OUT_media=nanmean(OUT_aux(AUX(j)));
NOV_media=nanmean(NOV_aux(AUX(j)));
DEZ_media=nanmean(DEZ_aux(AUX(j)));

XLS_name=sprintf('MEDIA_%s',file_name);

jan_ref=sprintf('B%d',j);
fev_ref=sprintf('C%d',j);
mar_ref=sprintf('D%d',j);
abr_ref=sprintf('E%d',j);
mai_ref=sprintf('F%d',j);
jun_ref=sprintf('G%d',j);
jul_ref=sprintf('H%d',j);
ago_ref=sprintf('I%d',j);
set_ref=sprintf('J%d',j);
out_ref=sprintf('K%d',j);
nov_ref=sprintf('L%d',j);
dez_ref=sprintf('M%d',j);

%Criar ficheiros Excel
xlswrite(XLS_name,JAN_media,1,jan_ref);
xlswrite(XLS_name,FEV_media,1,fev_ref);
xlswrite(XLS_name,MAR_media,1,mar_ref);
xlswrite(XLS_name,ABR_media,1,abr_ref);
xlswrite(XLS_name,MAI_media,1,mai_ref);
xlswrite(XLS_name,JUN_media,1,jun_ref);
xlswrite(XLS_name,JUL_media,1,jul_ref);
xlswrite(XLS_name,AGO_media,1,ago_ref);
xlswrite(XLS_name,SET_media,1,set_ref);
xlswrite(XLS_name,OUT_media,1,out_ref);
xlswrite(XLS_name,NOV_media,1,nov_ref);
xlswrite(XLS_name,DEZ_media,1,dez_ref);
end
end
toc

```

G. MOD11A1_3DI.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

tic
clear all; close all; clc

%Ver ficheiros existentes
files_AVEIRO_LST=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\AVEIRO');
;
files_BRAGA_LST=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\BRAGA');
files_PORTO_LST=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\PORTO');

%Criar matrizes para armazenar variáveis
MEAN_AVEIRO_LST_zeros=zeros(5431,1);
STD_AVEIRO_LST_zeros=zeros(5431,1);
MEAN_BRAGA_LST_zeros=zeros(5431,1);
STD_BRAGA_LST_zeros=zeros(5431,1);
MEAN_PORTO_LST_zeros=zeros(5431,1);
STD_PORTO_LST_zeros=zeros(5431,1);

%Ciclo para todos os ficheiros (1 a 17 não são ficheiros)
for i=18:numel(files_AVEIRO_LST)

    %Abrir ficheiros e matrizes de georreferenciação
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\AVEIRO
    GEOTIFF_AVEIRO_LST=geotiffread(files_AVEIRO_LST(i).name);
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\BRAGA
    GEOTIFF_BRAGA_LST=geotiffread(files_BRAGA_LST(i).name);
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\PORTO
    GEOTIFF_PORTO_LST=geotiffread(files_PORTO_LST(i).name);

    %Converter dados em formato double
    GEOTIFF_AVEIRO_LST=double(GEOTIFF_AVEIRO_LST);
    GEOTIFF_BRAGA_LST=double(GEOTIFF_BRAGA_LST);
    GEOTIFF_PORTO_LST=double(GEOTIFF_PORTO_LST);

    %Aplicar NaN e escala
    GEOTIFF_AVEIRO_LST(GEOTIFF_AVEIRO_LST==0)=NaN;
    GEOTIFF_AVEIRO_LST=(GEOTIFF_AVEIRO_LST*0.02)-273.15;
    GEOTIFF_BRAGA_LST(GEOTIFF_BRAGA_LST==0)=NaN;
    GEOTIFF_BRAGA_LST=(GEOTIFF_BRAGA_LST*0.02)-273.15;
    GEOTIFF_PORTO_LST(GEOTIFF_PORTO_LST==0)=NaN;
    GEOTIFF_PORTO_LST=(GEOTIFF_PORTO_LST*0.02)-273.15;

    %Calcular médias variáveis
    MEAN_AVEIRO_LST=nanmean(GEOTIFF_AVEIRO_LST(:,:,1));
    MEAN_AVEIRO_LST=nanmean(MEAN_AVEIRO_LST(:));
    MEAN_BRAGA_LST=nanmean(GEOTIFF_BRAGA_LST(:,:,1));
    MEAN_BRAGA_LST=nanmean(MEAN_BRAGA_LST(:));
    MEAN_PORTO_LST=nanmean(GEOTIFF_PORTO_LST(:));

    %Armazenar variáveis em matrizes
    MEAN_AVEIRO_LST_zeros(i-17)=MEAN_AVEIRO_LST;
    MEAN_BRAGA_LST_zeros(i-17)=MEAN_BRAGA_LST;
    MEAN_PORTO_LST_zeros(i-17)=MEAN_PORTO_LST;
```

```

end

%Calcular médias mensais
%Aveiro
MEAN_AVEIRO_JAN_2001=nanmean(MEAN_AVEIRO_LST_zeros(1:31));
(...)
MEAN_AVEIRO_DEZ_2015=nanmean(MEAN_AVEIRO_LST_zeros(5401:5431));

%Braga
MEAN_BRAGA_JAN_2001=nanmean(MEAN_BRAGA_LST_zeros(1:31));
(...)
MEAN_BRAGA_DEZ_2015=nanmean(MEAN_BRAGA_LST_zeros(5401:5431));

%Porto
MEAN_PORTO_JAN_2001=nanmean(MEAN_PORTO_LST_zeros(1:31));
(...)
MEAN_PORTO_DEZ_2015=nanmean(MEAN_PORTO_LST_zeros(5401:5431));

%Save files
%Aveiro
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\AVEIRO\LST_STATS.xlsx',MEAN_AVEIRO_JAN_2001,'AVEIRO','B2');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\AVEIRO\LST_STATS.xlsx',MEAN_AVEIRO_DEZ_2015,'AVEIRO','B181');

%Braga
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\BRAGA\LST_STATS.xlsx',MEAN_BRAGA_JAN_2001,'BRAGA','B2');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\BRAGA\LST_STATS.xlsx',MEAN_BRAGA_DEZ_2015,'BRAGA','B181');

%Porto
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\PORTO\LST_STATS.xlsx',MEAN_PORTO_JAN_2001,'PORTO','B2');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD11A1\PORTO\LST_STATS.xlsx',MEAN_PORTO_DEZ_2015,'PORTO','B181');

toc

```

H. MOD13Q1_3DI.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

tic
clear all; close all; clc

%Ver ficheiros existentes
files_AVEIRO_NDVI=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\AVEIRO_
CLIP');
files_BRAGA_NDVI=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\BRAGA_CL
IP');
files_PORTO_NDVI=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\PORTO_CL
IP');

%Criar matrizes para armazenar variáveis
MEAN_AVEIRO_NDVI_zeros=zeros(388,1);
STD_AVEIRO_NDVI_zeros=zeros(388,1);
MEAN_BRAGA_NDVI_zeros=zeros(388,1);
STD_BRAGA_NDVI_zeros=zeros(388,1);
MEAN_PORTO_NDVI_zeros=zeros(388,1);
STD_PORTO_NDVI_zeros=zeros(388,1);

%Ciclo para todos os ficheiros (1 e 2 não são ficheiros)
for i=3:numel(files_AVEIRO_NDVI)

    %Abrir ficheiros e matrizes de georreferenciação
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\AVEIRO_CLIP

[GEOTIFF_AVEIRO_NDVI,R_AVEIRO]=geotiffread(files_AVEIRO_NDVI(i).name)
;
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\BRAGA_CLIP

[GEOTIFF_BRAGA_NDVI,R_BRAGA]=geotiffread(files_BRAGA_NDVI(i).name);
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD13Q1\PORTO_CLIP

[GEOTIFF_PORTO_NDVI,R_PORTO]=geotiffread(files_PORTO_NDVI(i).name);

    %Converter dados em formato double
    GEOTIFF_AVEIRO_NDVI=double(GEOTIFF_AVEIRO_NDVI);
    GEOTIFF_BRAGA_NDVI=double(GEOTIFF_BRAGA_NDVI);
    GEOTIFF_PORTO_NDVI=double(GEOTIFF_PORTO_NDVI);

    %Aplicar NaN e escala
    GEOTIFF_AVEIRO_NDVI(GEOTIFF_AVEIRO_NDVI==-3000)=NaN;
    GEOTIFF_AVEIRO_NDVI=GEOTIFF_AVEIRO_NDVI*<0.0011;
    GEOTIFF_BRAGA_NDVI(GEOTIFF_BRAGA_NDVI==-3000)=NaN;
    GEOTIFF_BRAGA_NDVI=GEOTIFF_BRAGA_NDVI*<0.0011;
    GEOTIFF_PORTO_NDVI(GEOTIFF_PORTO_NDVI==-3000)=NaN;
    GEOTIFF_PORTO_NDVI=GEOTIFF_PORTO_NDVI*<0.0011;

    %Calcular médias das variáveis
    MEAN_AVEIRO_NDVI=nanmean(GEOTIFF_AVEIRO_NDVI(:, :, 1));
    MEAN_AVEIRO_NDVI=nanmean(MEAN_AVEIRO_NDVI(:));
    MEAN_BRAGA_NDVI=nanmean(GEOTIFF_BRAGA_NDVI(:, :, 1));
    MEAN_BRAGA_NDVI=nanmean(MEAN_BRAGA_NDVI(:));
    MEAN_PORTO_NDVI=nanmean(GEOTIFF_PORTO_NDVI(:));
```



```

    %Armazenar variáveis em matrizes
    MEAN_AVEIRO_NDVI_zeros(i-2)=MEAN_AVEIRO_NDVI;
    MEAN_BRAGA_NDVI_zeros(i-2)=MEAN_BRAGA_NDVI;
    MEAN_PORTO_NDVI_zeros(i-2)=MEAN_PORTO_NDVI;

end

%Calcular estatísticas mensais Aveiro
JAN2001_AVEIRO_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_AVEIRO_NDVI_zeros(21:22));
(...)
DEZ2015_AVEIRO_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_AVEIRO_NDVI_zeros(364:365));

%Calcular estatísticas mensais Braga
JAN2001_BRAGA_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_BRAGA_NDVI_zeros(21:22));
(...)
DEZ2015_BRAGA_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_BRAGA_NDVI_zeros(364:365));

%Calcular estatísticas mensais Porto
JAN2001_PORTO_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_PORTO_NDVI_zeros(21:22));
(...)
DEZ2015_PORTO_NDVI_MEAN=nanmean(MEAN_PORTO_NDVI_zeros(364:365));

%Guardar Aveiro
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', JAN2001_AVEIRO_NDVI_MEAN, 1, 'B1');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', DEZ2015_AVEIRO_NDVI_MEAN, 1, 'B180');

%Guardar Braga
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', JAN2001_BRAGA_NDVI_MEAN, 2, 'B1');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', DEZ2015_BRAGA_NDVI_MEAN, 2, 'B180');

%Guardar Porto
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', JAN2001_PORTO_NDVI_MEAN, 3, 'B1');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\NDVI_STATS.xlsx', DEZ2015_PORTO_NDVI_MEAN, 3, 'B180');
toc

```

I. RH_SP_calc.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

tic
clear all;close all;clc

%Scales and offsets
DT_SCALE=0.01; %KELVIN
DT_OFFSET=-15000;
SP_SCALE=0.10; %hPa
SP_OFFSET=0;
ST_SCALE=0.01; %KELVIN
ST_OFFSET=-15000;

%Get hdf files
files_hdf=dir('A:\TESE\DADOS\DADOS_ORIGINAIS\MOD07_L2\1_HDF');

cd A:\TESE\DADOS\DADOS_ORIGINAIS\MOD07_L2\1_HDF
%Run for each file (1 and 2 are not files)
for i=3:numel(files_hdf)

    %Get variables
    filename_hdf=files_hdf(i).name;
    fileinfo_hdf = hdfinfo(filename_hdf);
    latitude=hdfread(filename_hdf, 'Latitude');
    longitude=hdfread(filename_hdf, 'Longitude');
    SP=hdfread(filename_hdf, 'Surface_Pressure');
    ST=hdfread(filename_hdf, 'Skin_Temperature');
    DT=hdfread(filename_hdf, 'Retrieved_Moisture_Profile');

    %Format variables
    SP=double(SP);
    SP(SP==--32768)=NaN;
    ST=double(ST);
    ST(ST==--32768)=NaN;
    DT=double(DT);
    DT(DT==--32768)=NaN;
    DT_1_aux=DT(20,:);
    DT_1_aux=DT_1_aux';
    A=length(DT(1, :, 1));
    B=length(DT(1, 1, :));
    DT=reshape(DT_1_aux, [A,B]);

    %Project coordinates
    dczone = '29N';
    utmstruct = defaultm('utm');
    utmstruct.zone = dczone;
    utmstruct.geoid = wgs84Ellipsoid;
    utmstruct = defaultm(utmstruct);
    [x,y] = mfwdtran(utmstruct,latitude,longitude);
    x_min=min(x(:));
    x_min=double(x_min);
    x_max=max(x(:));
    x_max=double(x_max);
    y_min=min(y(:));
    y_min=double(y_min);
    y_max=max(y(:));
```

```

y_max=double(y_max);
R=maprefcells([x_min x_max], [y_min y_max], [A B]);
CoordRefSysCode=32629; %EPSG code UTM 29N

%Scale, offset and conversion to Kelvin
ST_KELVIN=(ST-ST_OFFSET)*ST_SCALE;
ST=ST_KELVIN-272.15;
DT_KELVIN=(DT-DT_OFFSET)*DT_SCALE;
DT=DT_KELVIN-272.15;

%Vapor pressure and saturated vapor pressure calculation
VP=6.11*(10.^(7.5*DT./(237.7+DT)));
SVP=6.11*(10.^(7.5*ST./(237.7+ST)));

%Relative humidity calculation
RH=VP*100./SVP;

%Save files
cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\RH\
filename_RH=sprintf('%s_%d_RH.tif', filename_hdf(1:17),i-2);
geotiffwrite(filename_RH,RH,R,'CoordRefSysCode',CoordRefSysCode);
cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\SP\
filename_SP=sprintf('%s_%d_SP.tif', filename_hdf(1:17),i-2);
geotiffwrite(filename_SP,SP,R,'CoordRefSysCode',CoordRefSysCode);
end
toc

```

J. RH_SP_stats.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

clear all; close all; clc
tic
files_RH=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\1_AVEIRO_CLIP\RH');
files_SP=dir('A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\1_AVEIRO_CLIP\SP');

MEAN_RH_zeros=zeros(13715,1);
MEAN_SP_zeros=zeros(13715,1);
STD_RH_zeros=zeros(13715,1);
STD_SP_zeros=zeros(13715,1);

for i=3:numel(files_RH)
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\1_AVEIRO_CLIP\RH
    GEOTIFF_RH=geotiffread(files_RH(i).name);
    GEOTIFF_RH=GEOTIFF_RH(:,:,1);
    cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\MODIS\MOD07_L2\1_AVEIRO_CLIP\SP
    GEOTIFF_SP=geotiffread(files_SP(i).name);
    GEOTIFF_SP=GEOTIFF_SP(:,:,1);

    MEAN_RH=nanmean(GEOTIFF_RH(:));
    MEAN_SP=nanmean(GEOTIFF_SP(:));
    STD_RH=nanstd(GEOTIFF_RH(:));
    STD_SP=nanstd(GEOTIFF_SP(:));

    MEAN_RH_zeros(i)=MEAN_RH;
    MEAN_SP_zeros(i)=MEAN_SP;

    STD_RH_zeros(i)=STD_RH;
    STD_SP_zeros(i)=STD_SP;
end

JAN_2001_RH_MEAN=nanmean(MEAN_RH_zeros(1:84));
(...)
DEZ_2015_RH_MEAN=nanmean(MEAN_RH_zeros(13636:13715));

JAN_2001_SP_MEAN=nanmean(MEAN_SP_zeros(1:84));
(...)
DEZ_2015_SP_MEAN=nanmean(MEAN_SP_zeros(13636:13715));

xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\AVEIRO_RH_SP.xlsx',JAN_2001_SP_MEAN,1,'B1');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\AVEIRO_RH_SP.xlsx',DEZ_2015_SP_MEAN,1,'B180');

xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\AVEIRO_RH_SP.xlsx',JAN_2001_RH_MEAN,1,'B361');
(...)
xlswrite('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\AVEIRO_RH_SP.xlsx',DEZ_2015_RH_MEAN,1,'B540');

toc
```

K. mat_to_xls.m

```
%Mariana Oliveira
%Matlab R2017a

tic
clear all; close all; clc

cd A:\TESE\DADOS\TRATAMENTO\QUALAR\MEDIAS_MENSAIS_NORTE\INC
files=dir('*.mat');

for i=1:numel(files)
    filename=files(i).name;
    load(filename)

    filename_xls_JAN=sprintf('%s_JAN.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_FEV=sprintf('%s_FEV.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_MAR=sprintf('%s_MAR.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_ABR=sprintf('%s_ABR.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_MAI=sprintf('%s_MAI.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_JUN=sprintf('%s_JUN.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_JUL=sprintf('%s_JUL.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_AGO=sprintf('%s_AGO.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_SET=sprintf('%s_SET.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_OUT=sprintf('%s_OUT.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_NOV=sprintf('%s_NOV.xlsx', filename(1:end-10));
    filename_xls_DEZ=sprintf('%s_DEZ.xlsx', filename(1:end-10));

    xlswrite(filename_xls_JAN,Media_F1,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_FEV,Media_F2,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_MAR,Media_F3,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_ABR,Media_F4,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_MAI,Media_F5,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_JUN,Media_F6,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_JUL,Media_F7,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_AGO,Media_F8,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_SET,Media_F9,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_OUT,Media_F10,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_NOV,Media_F11,1,'B1');
    xlswrite(filename_xls_DEZ,Media_F12,1,'B1');
end
toc
```

L. plots.m

```
%Mariana Oliveira
%Maltab R2017a

clear all; close all; clc
tic
%Read excel
XLS=xlsread('A:\TESE\DADOS\RESULTADOS\ALL_STATS_FINAL.xlsx');

%Get variables vectors
DI=XLS(:,1);
ANO=XLS(:,2);
MES=XLS(:,3);
PE=XLS(:,4);
LST=XLS(:,5);
SP=XLS(:,6);
RH=XLS(:,7);
NDVI=XLS(:,8);
C6H6=XLS(:,9);
CO=XLS(:,10);
NO=XLS(:,11);
NO2=XLS(:,12);
O3=XLS(:,13);
PM10=XLS(:,14);
PM25=XLS(:,15);
SO2=XLS(:,16);
DATA=XLS(:,17);

%Colour bar aux
X_2001_aux=[0,0,12,12];
Y_2001_aux=[0,4500,4500,0];
X_2002_aux=[12,12,24,24];
Y_2002_aux=[0,4500,4500,0];
X_2003_aux=[24,24,36,36];
Y_2003_aux=[0,4500,4500,0];
X_2004_aux=[36,36,48,48];
Y_2004_aux=[0,4500,4500,0];
X_2005_aux=[48,48,60,60];
Y_2005_aux=[0,4500,4500,0];
X_2006_aux=[60,60,72,72];
Y_2006_aux=[0,4500,4500,0];
X_2007_aux=[72,72,84,84];
Y_2007_aux=[0,4500,4500,0];
X_2008_aux=[84,84,96,96];
Y_2008_aux=[0,4500,4500,0];
X_2009_aux=[96,96,108,108];
Y_2009_aux=[0,4500,4500,0];
X_2010_aux=[108,108,120,120];
Y_2010_aux=[0,4500,4500,0];
X_2011_aux=[120,120,132,132];
Y_2011_aux=[0,4500,4500,0];
X_2012_aux=[132,132,144,144];
Y_2012_aux=[0,4500,4500,0];
X_2013_aux=[144,144,156,156];
Y_2013_aux=[0,4500,4500,0];
X_2014_aux=[156,156,168,168];
Y_2014_aux=[0,4500,4500,0];
X_2015_aux=[168,168,180,180];
Y_2015_aux=[0,4500,4500,0];
```

```

%Colours
Blue=[147/255 191/255 235/255];
Pink=[1 153/255 1];

%Auxiliar characters
CUBO=sprintf('\x00B3');
MICRO=sprintf('\x00B5');
SUB2=sprintf('\x2082');
SUB3=sprintf('\x2083');
SUB6=sprintf('\x2086');
SUB25=sprintf('\x2082.\x2085');
SUB10=sprintf('\x2081\x2080');
GRAUS=sprintf('\x00B0');
PERMIL=sprintf('\x2030');

figure
hold on
a=fill(X_2001_aux,Y_2001_aux,Blue);
a.FaceAlpha = 0.1;
a.LineStyle=': ';
b=fill(X_2002_aux,Y_2002_aux,Pink);
b.FaceAlpha = 0.1;
b.LineStyle=': ';
c=fill(X_2003_aux,Y_2003_aux,Blue);
c.FaceAlpha = 0.1;
c.LineStyle=': ';
d=fill(X_2004_aux,Y_2004_aux,Pink);
d.FaceAlpha = 0.1;
d.LineStyle=': ';
e=fill(X_2005_aux,Y_2005_aux,Blue);
e.FaceAlpha = 0.1;
e.LineStyle=': ';
f=fill(X_2006_aux,Y_2006_aux,Pink);
f.FaceAlpha = 0.1;
f.LineStyle=': ';
g=fill(X_2007_aux,Y_2007_aux,Blue);
g.FaceAlpha = 0.1;
g.LineStyle=': ';
h=fill(X_2008_aux,Y_2008_aux,Pink);
h.FaceAlpha = 0.1;
h.LineStyle=': ';
i=fill(X_2009_aux,Y_2009_aux,Blue);
i.FaceAlpha = 0.1;
i.LineStyle=': ';
j=fill(X_2010_aux,Y_2010_aux,Pink);
j.FaceAlpha = 0.1;
j.LineStyle=': ';
k=fill(X_2011_aux,Y_2011_aux,Blue);
k.FaceAlpha = 0.1;
k.LineStyle=': ';
l=fill(X_2012_aux,Y_2012_aux,Pink);
l.FaceAlpha = 0.1;
l.LineStyle=': ';
m=fill(X_2013_aux,Y_2013_aux,Blue);
m.FaceAlpha = 0.1;
m.LineStyle=': ';
n=fill(X_2014_aux,Y_2014_aux,Pink);
n.FaceAlpha = 0.1;
n.LineStyle=': ';
o=fill(X_2015_aux,Y_2015_aux,Blue);

```

```

o.FaceAlpha = 0.1;
o.LineStyle=': ';
plot(DATA, PE, 'k');
scatter(DATA, PE, '.k');
ylim([0 4]);
title('Pré-eclampsia em função do tempo', 'fontsize', 46);
xlabel('Tempo (nº de meses)', 'fontsize', 35);
ylabel(sprintf('Pré-eclampsia (%s)', PERMIL), 'fontsize', 35);
set(gca, 'fontsize', 20);
% L=lsline;
% ONES=[ones(size(L.XData(:))), L.XData(:)]\L.YData(:);
% Slope = ONES(2);
% Intercept = ONES(1);
hold off

figure
subplot(6,2,7)
hold on
scatter(DATA, NDVI, '.k');
plot(DATA, NDVI, 'k');
hold off
subplot(6,2,1)
hold on
scatter(DATA, LST, '.k');
plot(DATA, LST, 'k');
hold off
subplot(6,2,9)
hold on
plot(DATA, C6H6, 'k');
scatter(DATA, C6H6, '.k');
subplot(6,2,11)
hold on
plot(DATA, CO, 'k');
scatter(DATA, CO, '.k');
hold off
subplot(6,2,4)
hold on
plot(DATA, NO2, 'k');
scatter(DATA, NO2, '.k');
hold off
subplot(6,2,2)
hold on
hold off
subplot(6,2,6)
hold on
plot(DATA, O3, 'k');
scatter(DATA, O3, '.k');
hold off
subplot(6,2,8)
hold on
plot(DATA, PM10, 'k');
scatter(DATA, PM10, '.k');
hold off
subplot(6,2,10)
hold on
plot(DATA, PM25, 'k');
scatter(DATA, PM25, '.k');
hold off
subplot(6,2,12)
hold on
plot(DATA, SO2, 'k');

```



```

scatter(DATA,SO2, '.k');
hold off
subplot(6,2,3)
hold on
plot(DATA,SP, 'k');
scatter(DATA,SP, '.k');
hold off
subplot(6,2,5)
hold on
plot(DATA,RH, 'k');
scatter(DATA,RH, '.k');

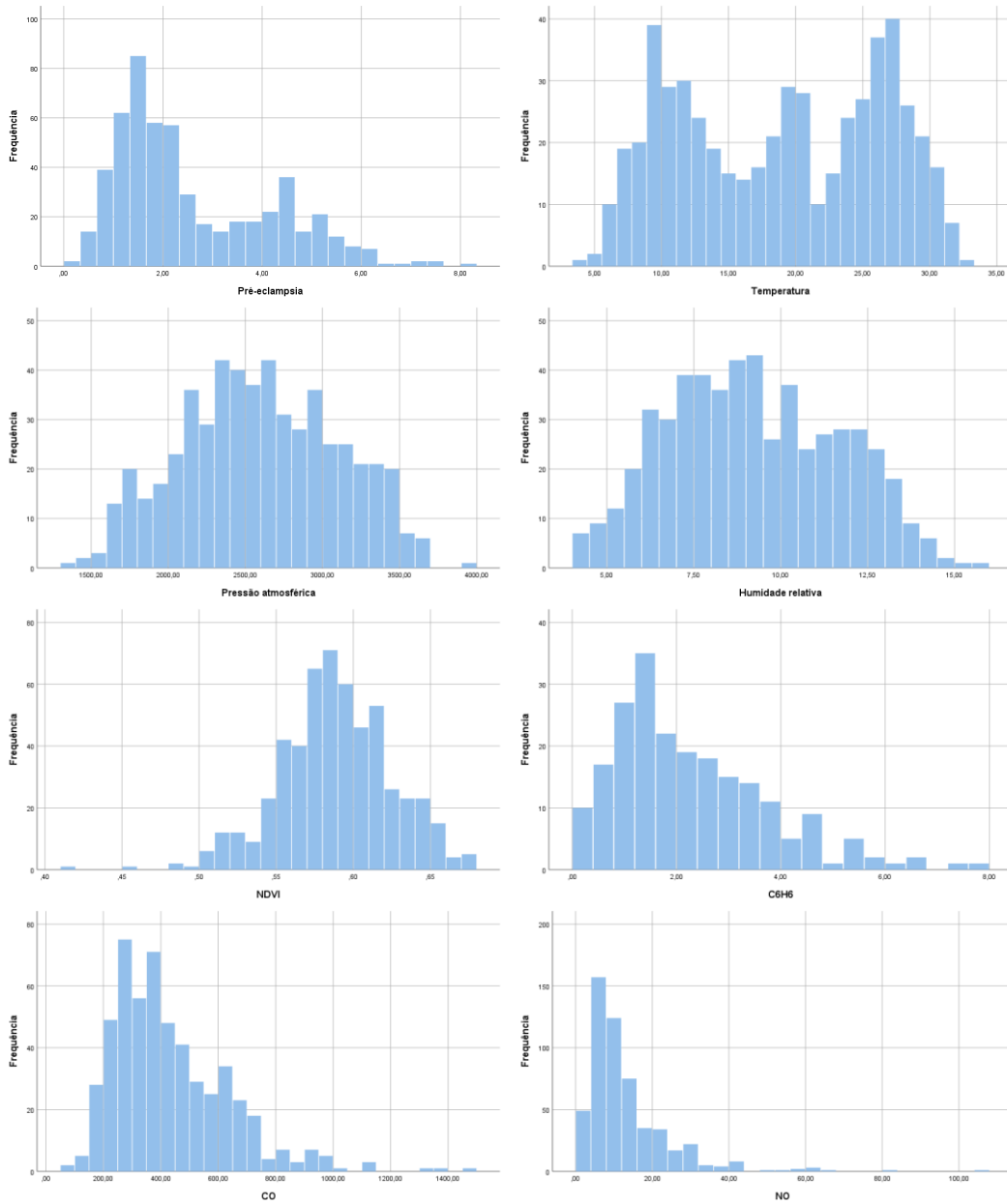
%Scatter PE/VAR
figure
subplot(3,2,1)
scatter(NDVI,PE, '.k')
hold on
%title('Pré-eclampsia em função do NDVI')
xlabel('NDVI (adimensional)');
ylabel(sprintf('Pré-eclampsia (%s)',PERMIL));
L=lsline;
ONES=[ones(size(L.XData(:))), L.XData(:)]\L.YData(:);
Slope = ONES(2);
Intercept = ONES(1);
legend([],sprintf('PE=%1.5f*NDVI+%1.5f',Slope,Intercept));
hold off
subplot(3,2,2)
(...)
subplot(3,2,3)
scatter(CO,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,4)
scatter(NO2,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,5)
scatter(NO,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,6)
scatter(O3,PE, '.k')
(...)
figure
subplot(3,2,1)
scatter(PM10,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,2)
scatter(PM25,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,3)
scatter(SO2,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,4)
scatter(SP,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,5)
scatter(RH,PE, '.k')
(...)
subplot(3,2,6)
scatter(C6H6,PE, '.k')
(...)

toc

```


Anexo II – Gráficos

A. Histogramas com dados de todos os distritos



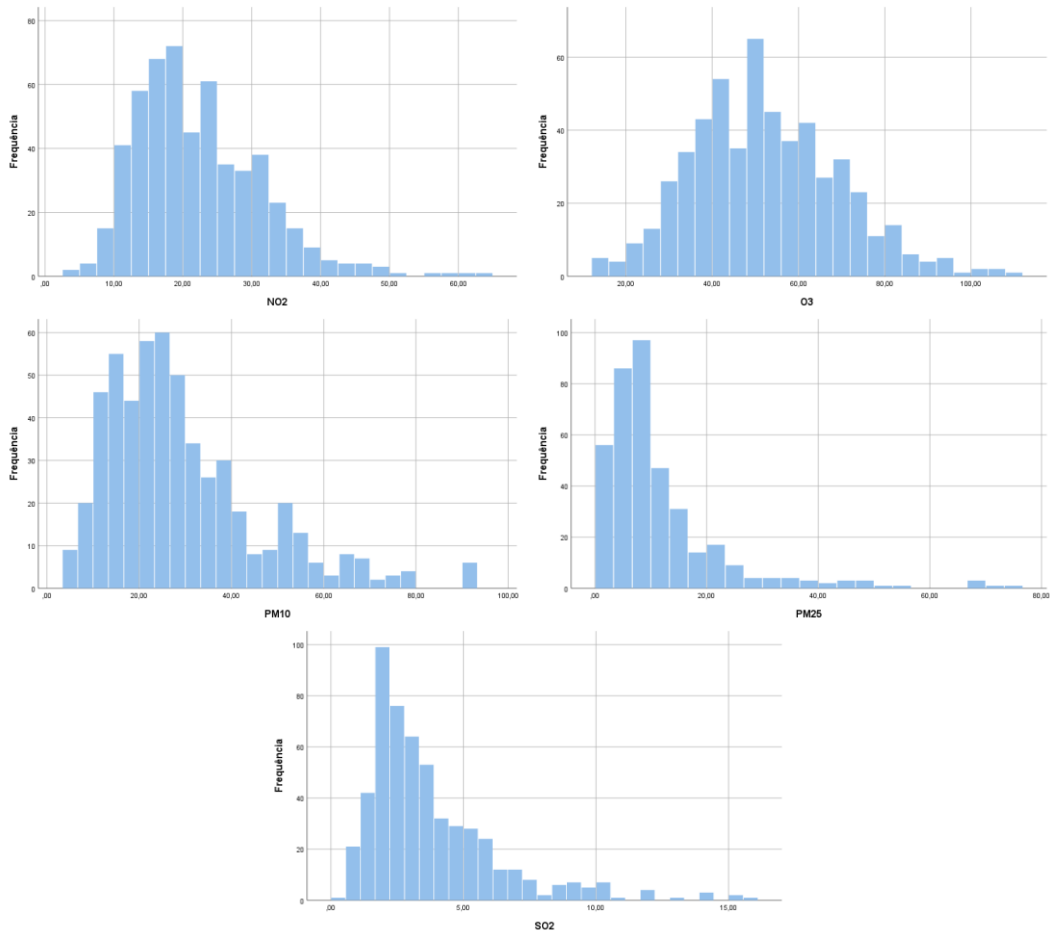
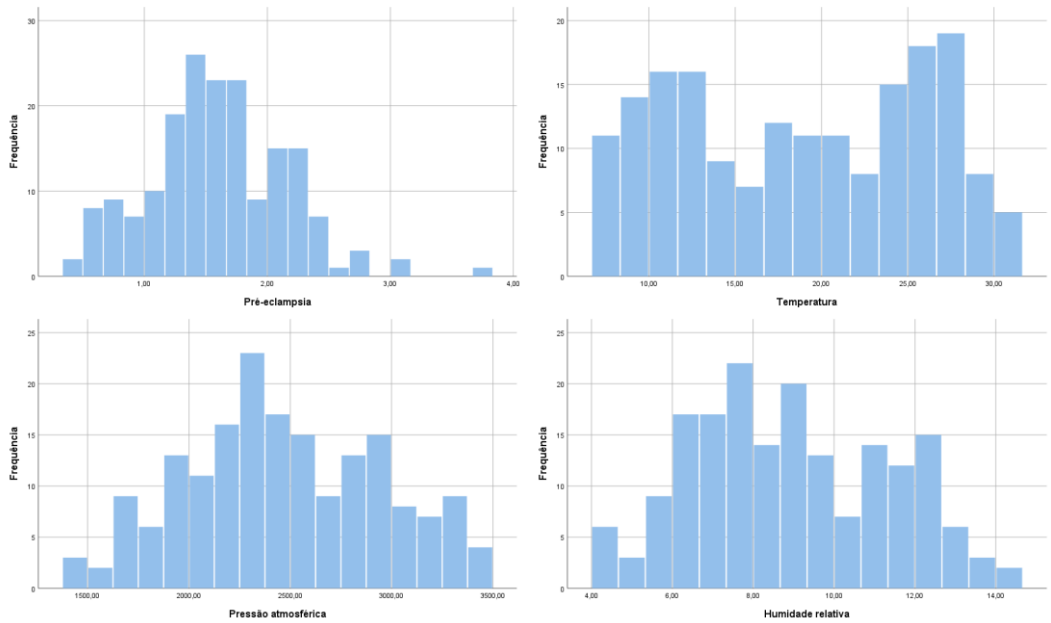


Figura 18 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (todos os distritos)

B. Histogramas com dados por distrito

B.1. Aveiro



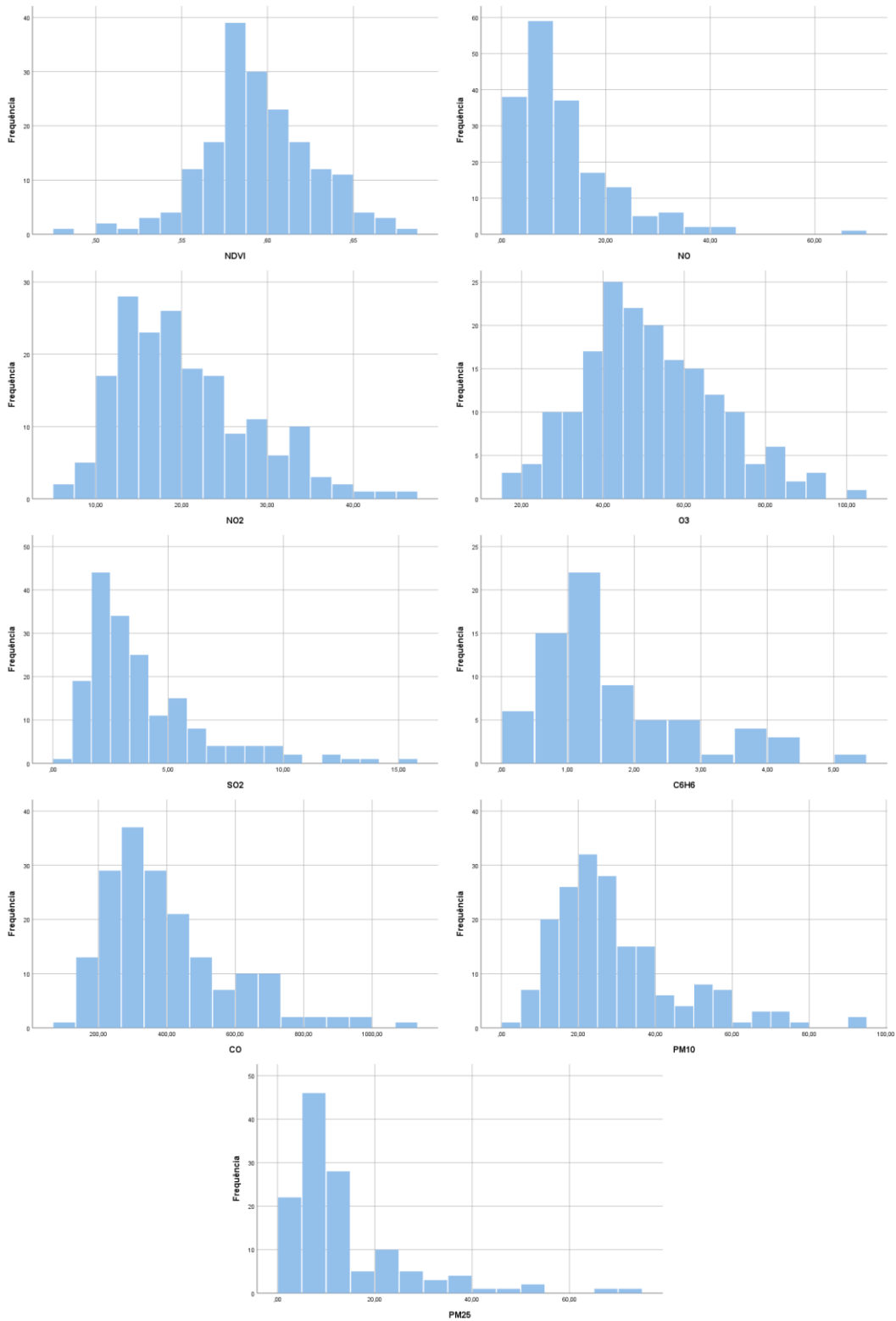
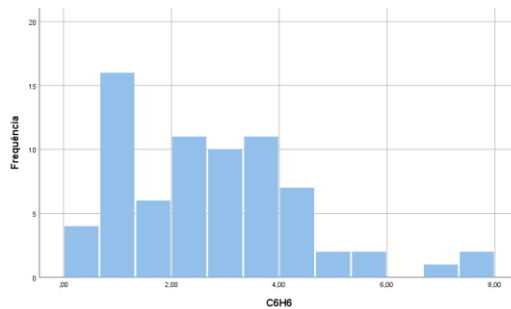
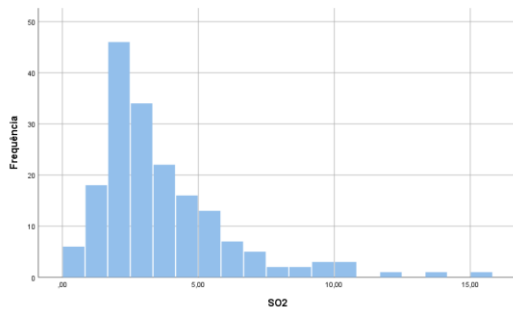
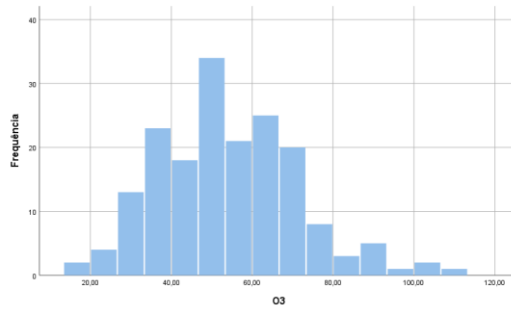
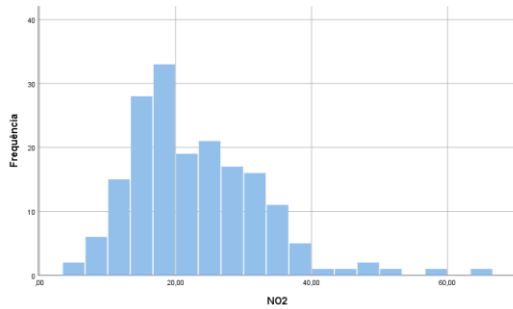
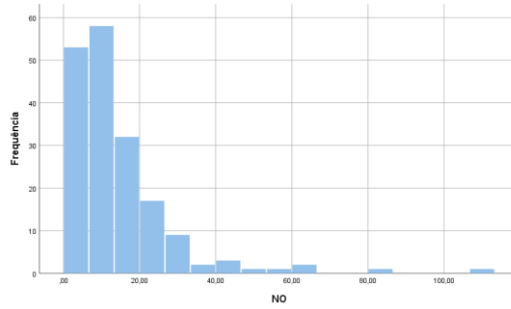
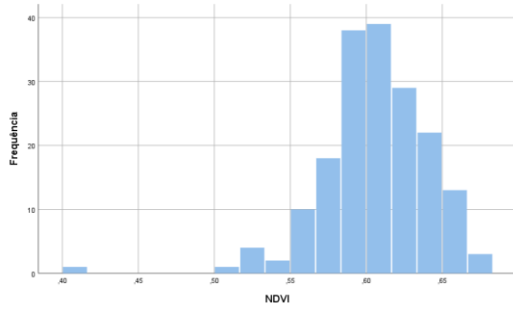
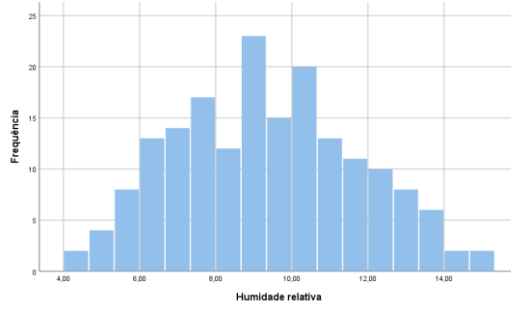
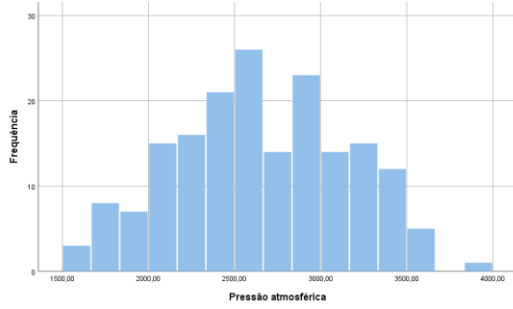
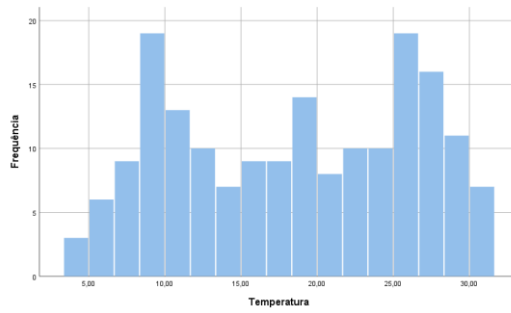
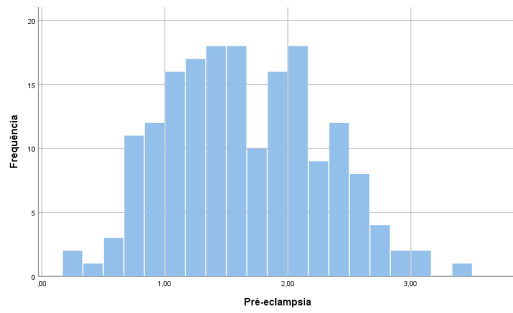


Figura 19 - Histograma de todas as variáveis em estudo (Aveiro)

B.2. Braga



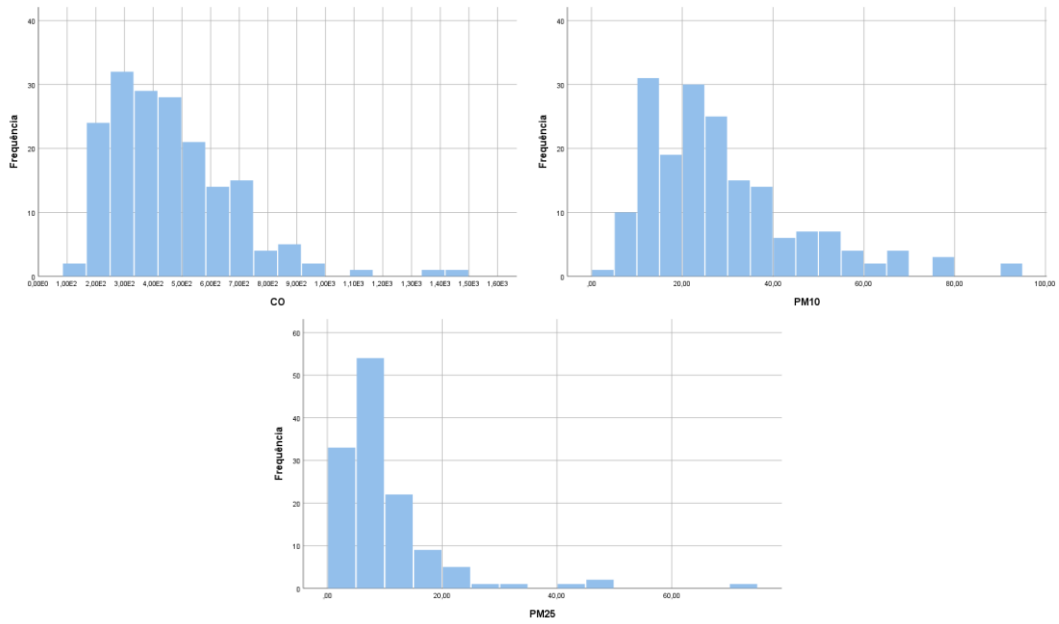
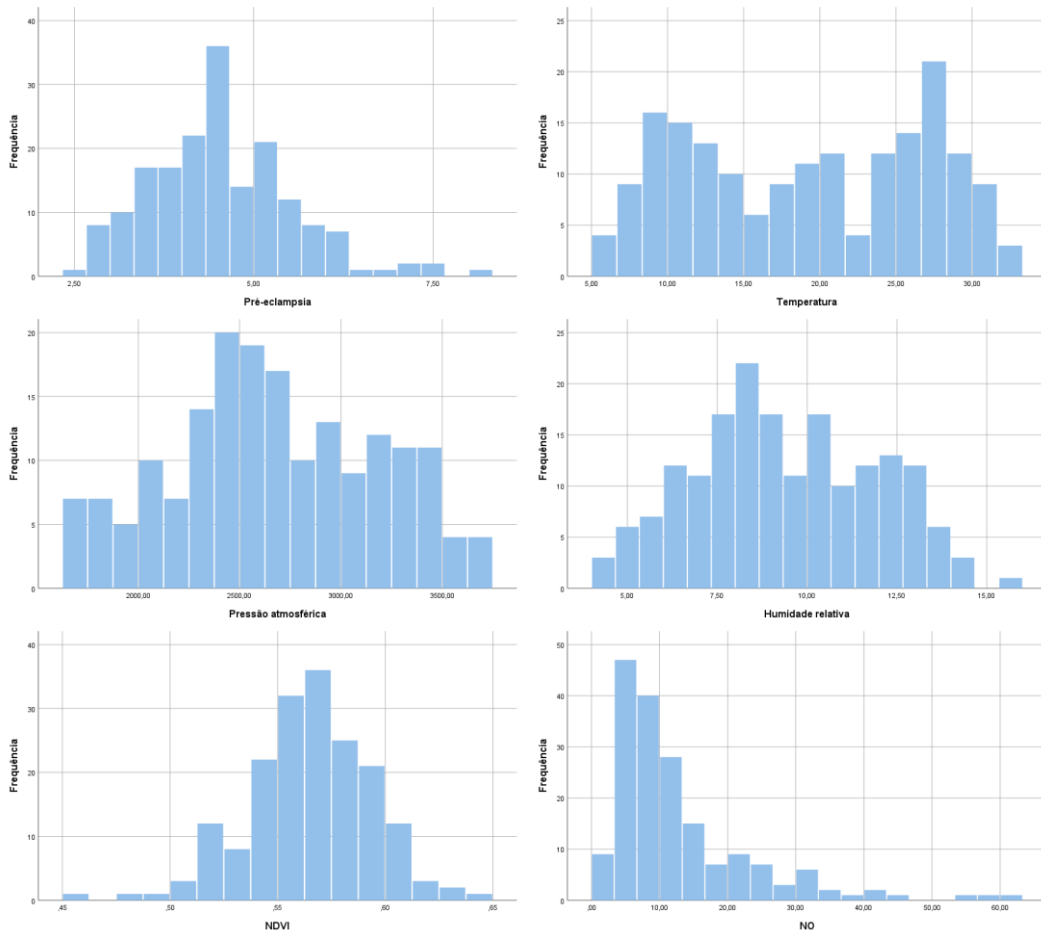


Figura 20 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (Braga)

B.3. Porto



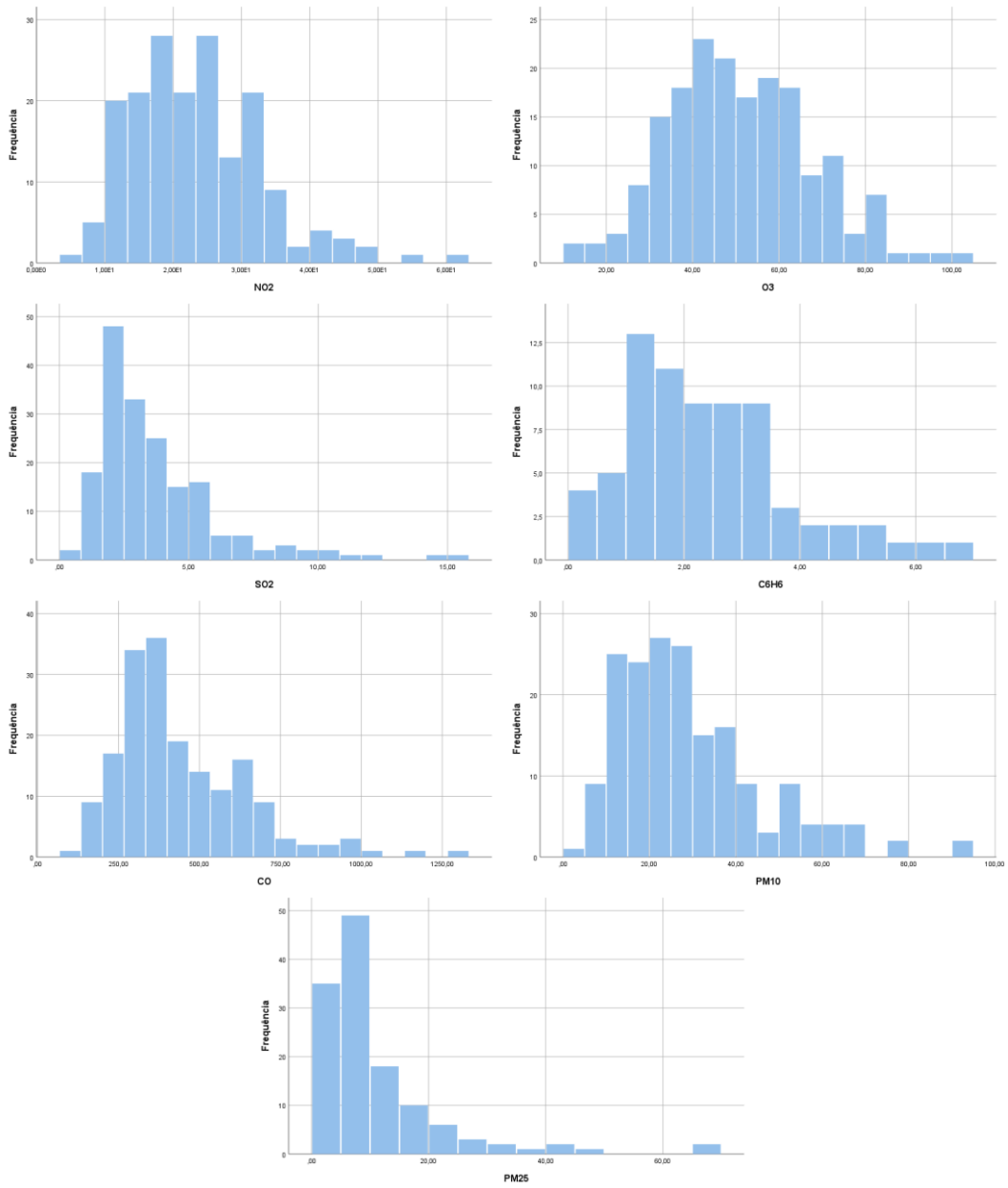


Figura 21 - Histogramas de todas as variáveis em estudo (Porto)

C. Diagramas de dispersão e linhas por ano

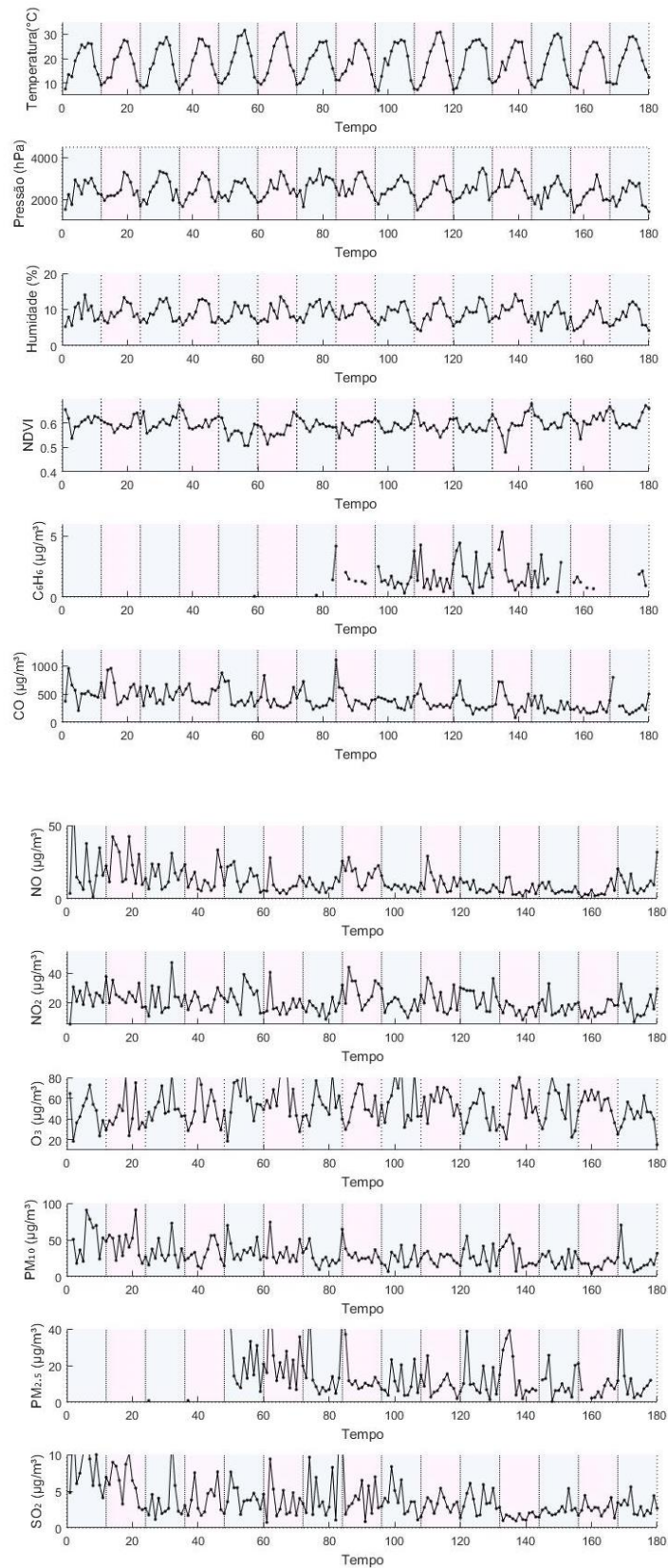


Figura 22 - Gráficos de dispersão e linhas de todas as variáveis em estudo em função do tempo

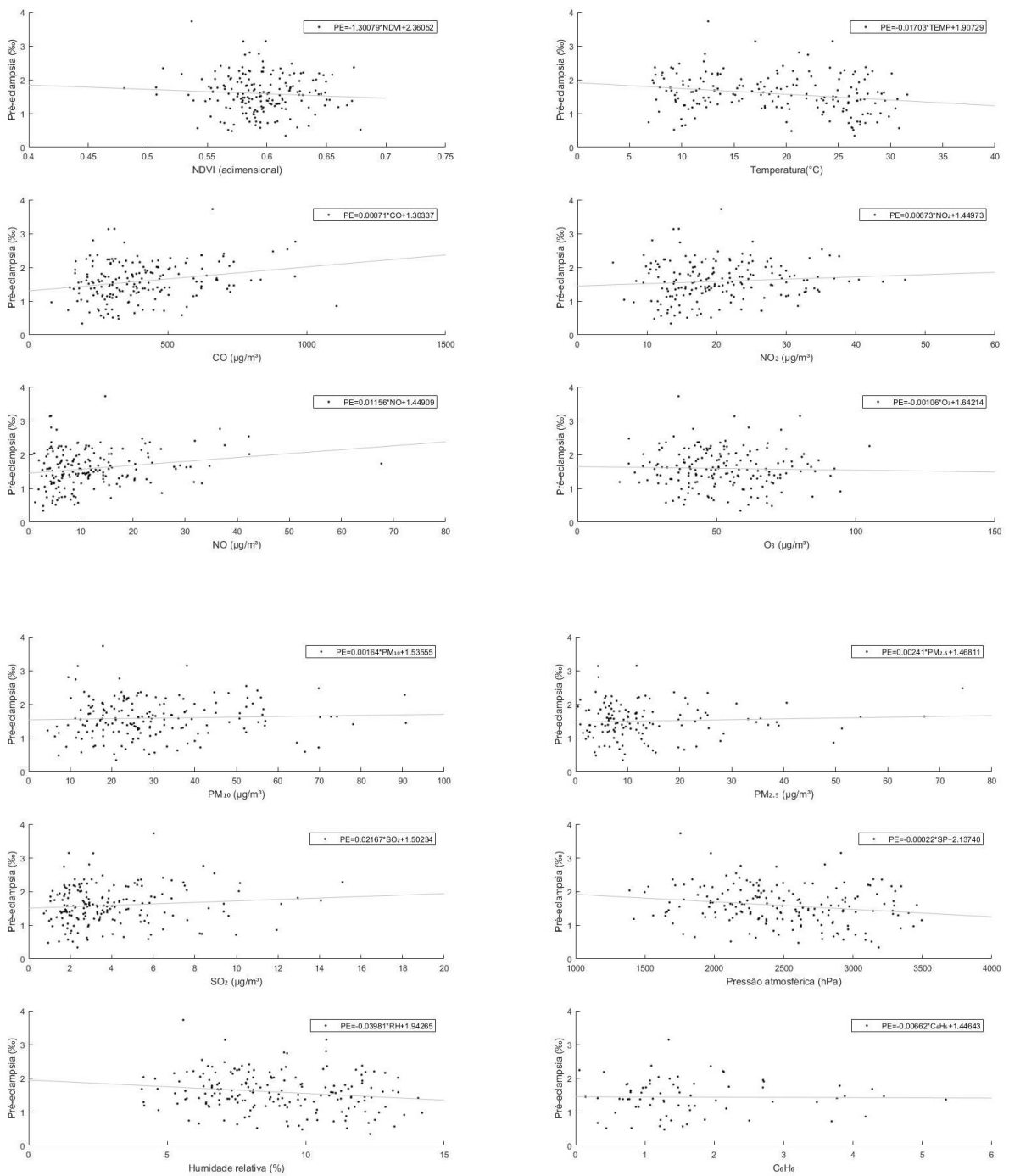


Figura 23 - Diagramas de dispersão com reta de ajuste linear para a pré-eclampsia em função de todas as restantes variáveis em estudo

Anexo III – Mapas

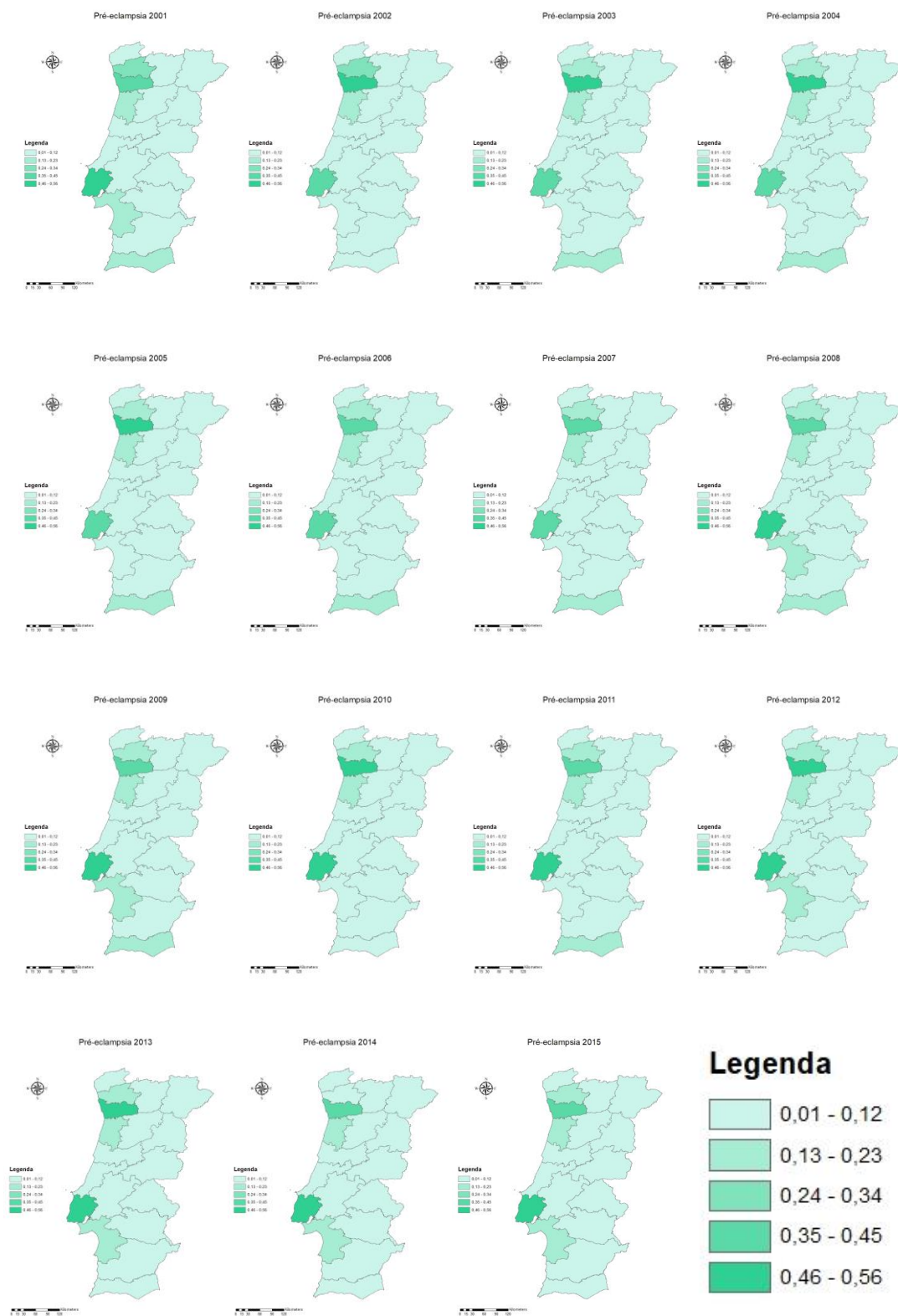


Figura 24 - Mapas anuais da taxa de pré-eclampsia em Portugal continental e respetiva legenda

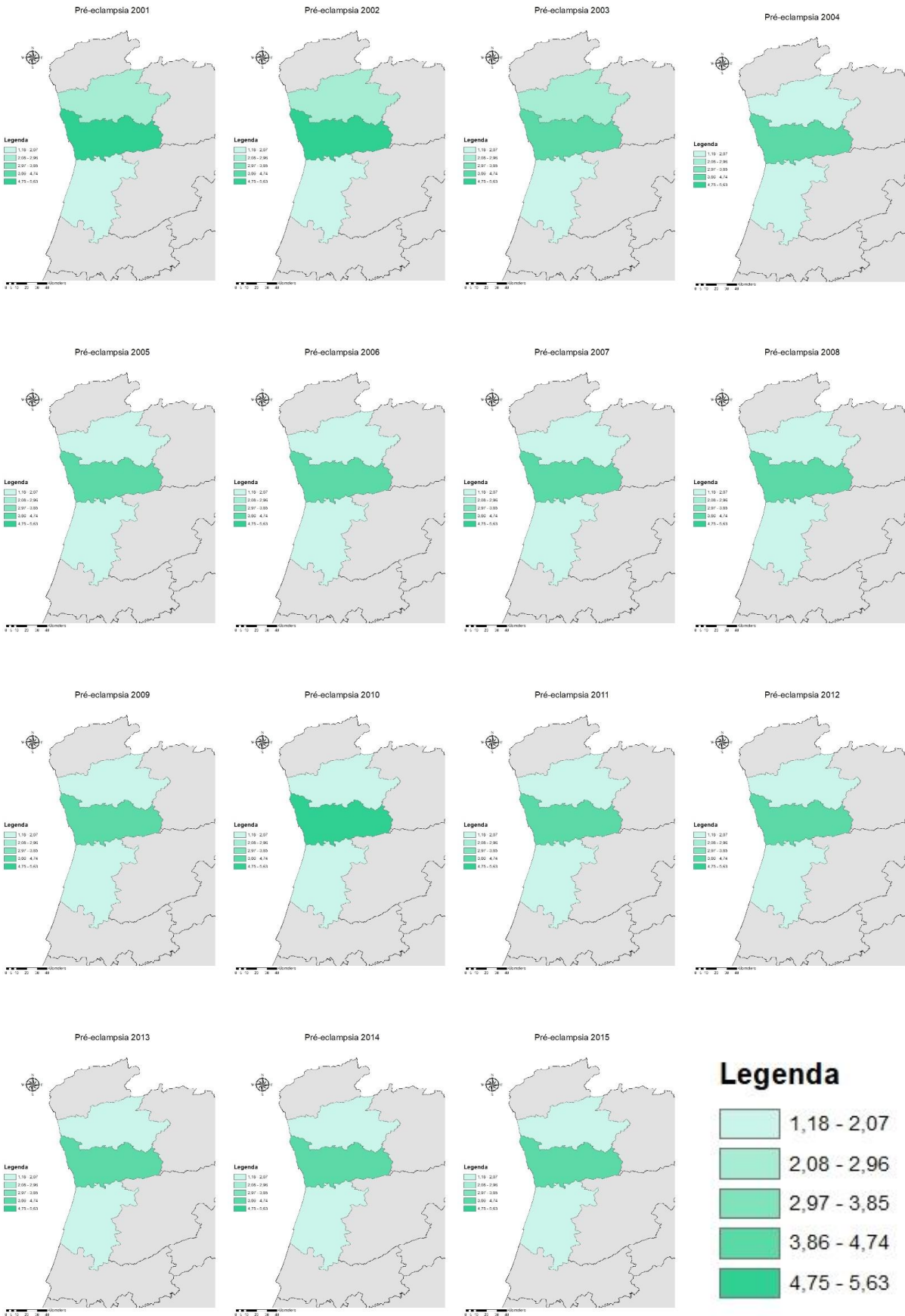


Figura 25 - Mapas anuais da taxa de pré-eclampsia na zona de estudo e respetiva legenda

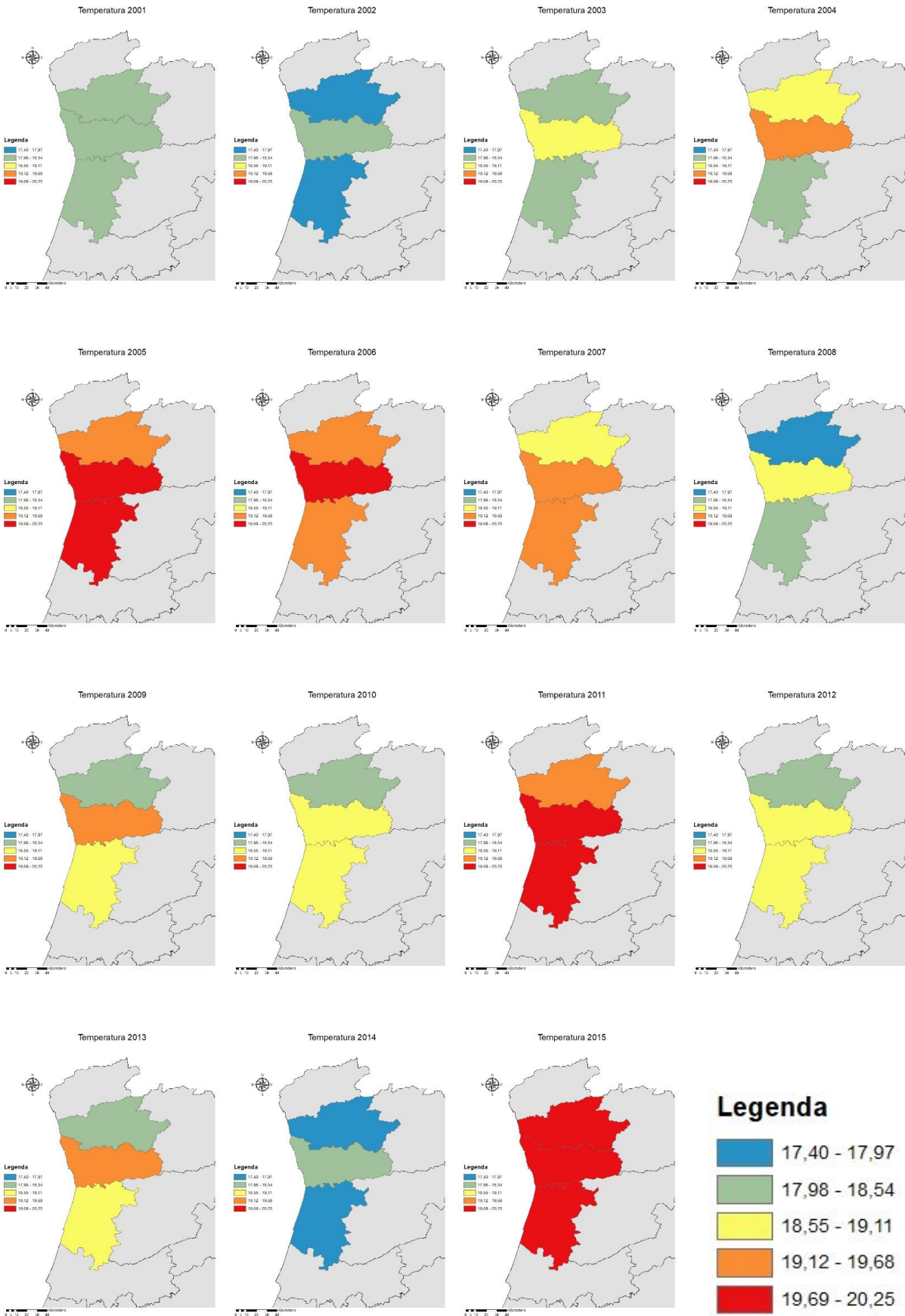


Figura 26 - Mapas anuais de temperatura na zona de estudo e respetiva legenda

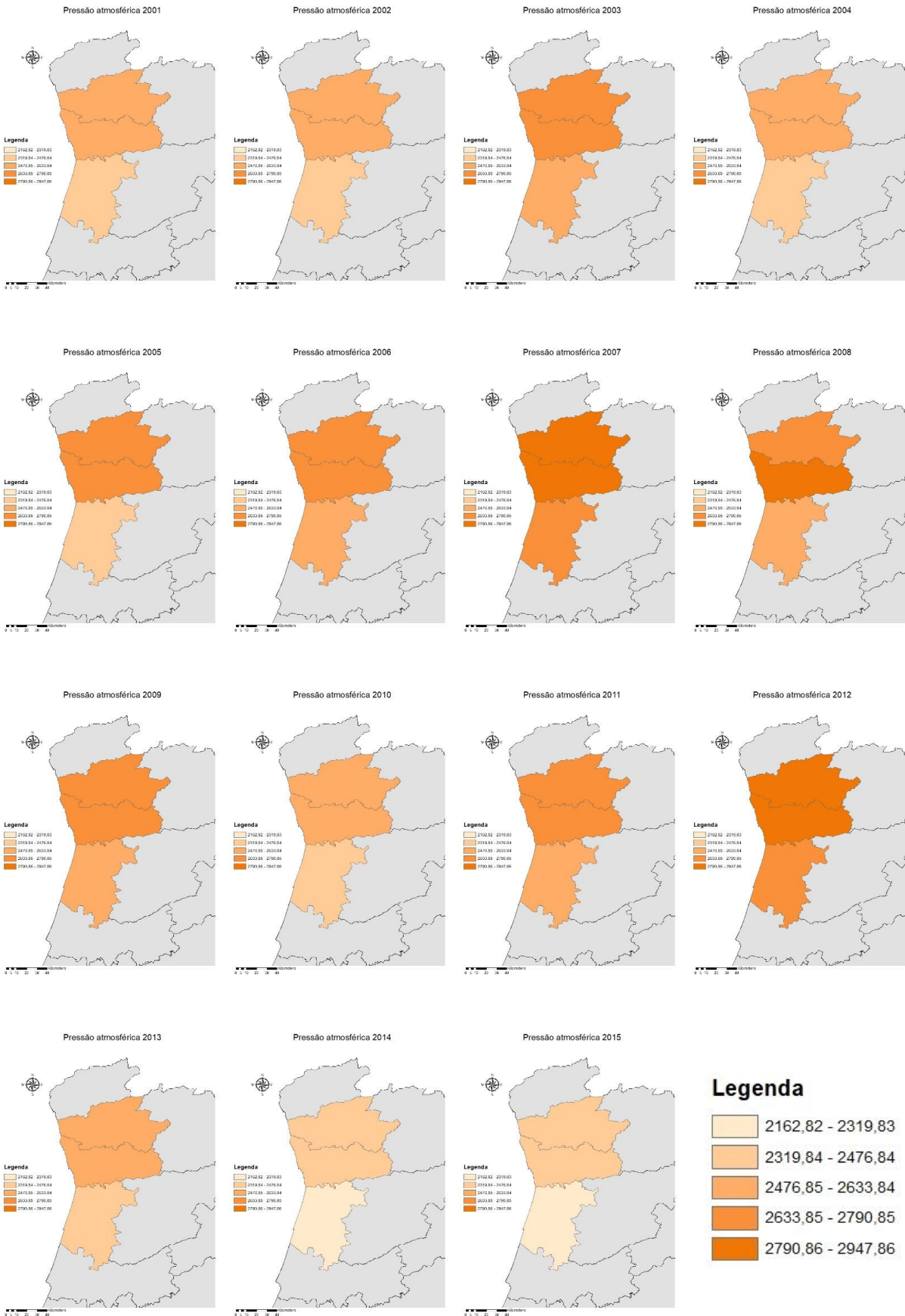


Figura 27 - Mapas anuais da pressão atmosférica na zona de estudo e respetiva legenda

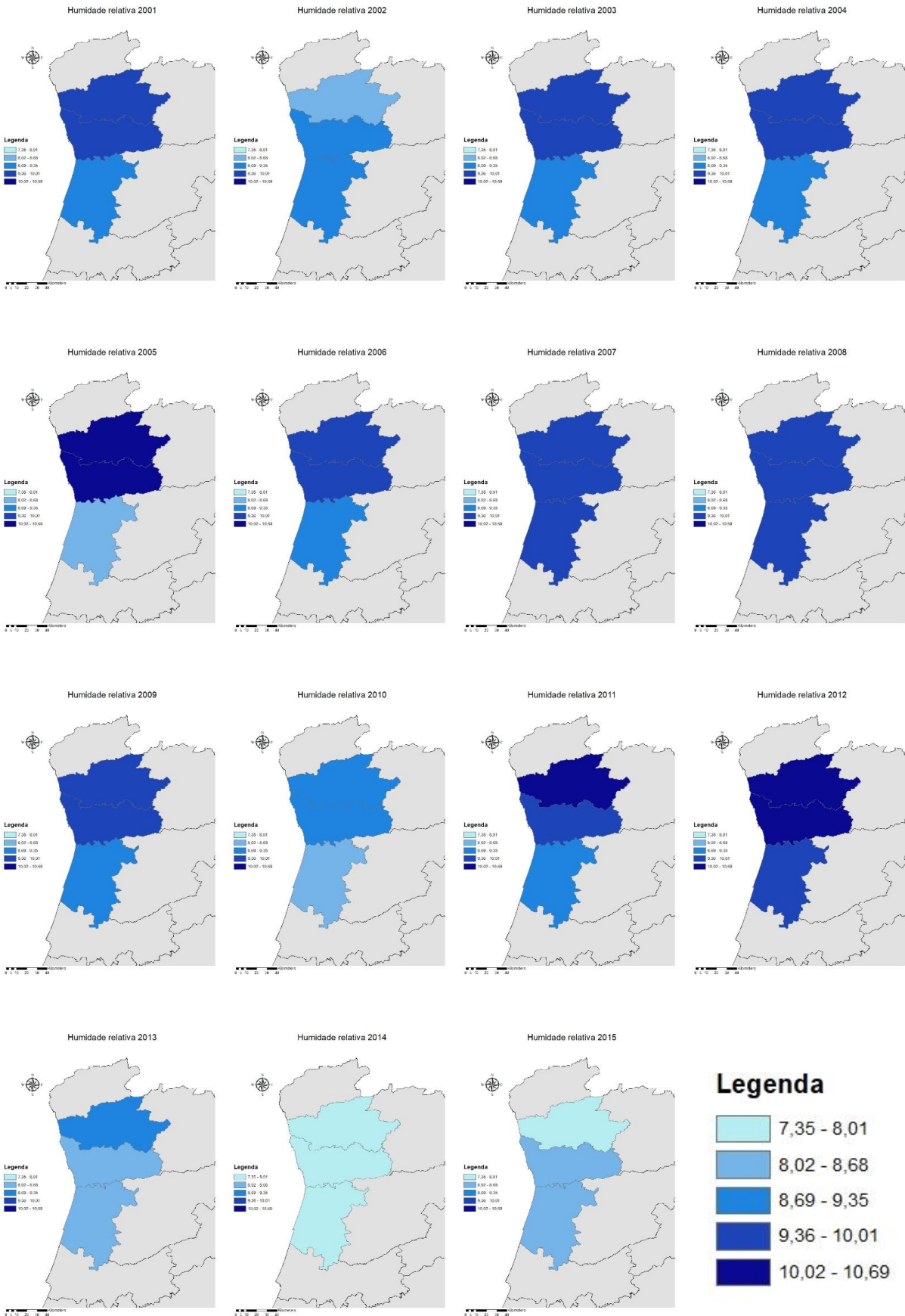


Figura 28 - Mapas anuais da humidade relativa na zona de estudo e respetiva legenda

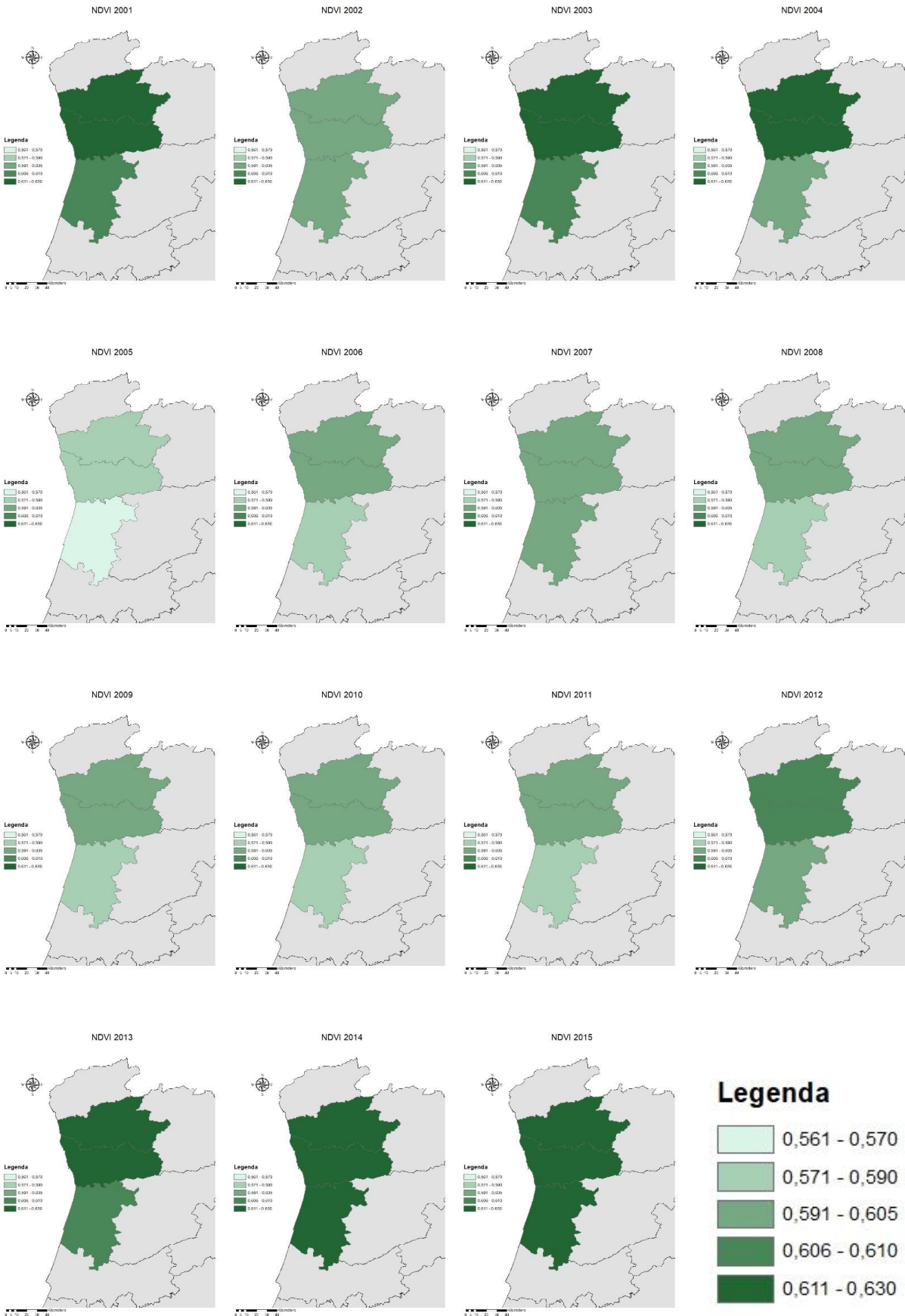


Figura 29 - Mapas anuais de NDVI na zona de estudo e respetiva legenda

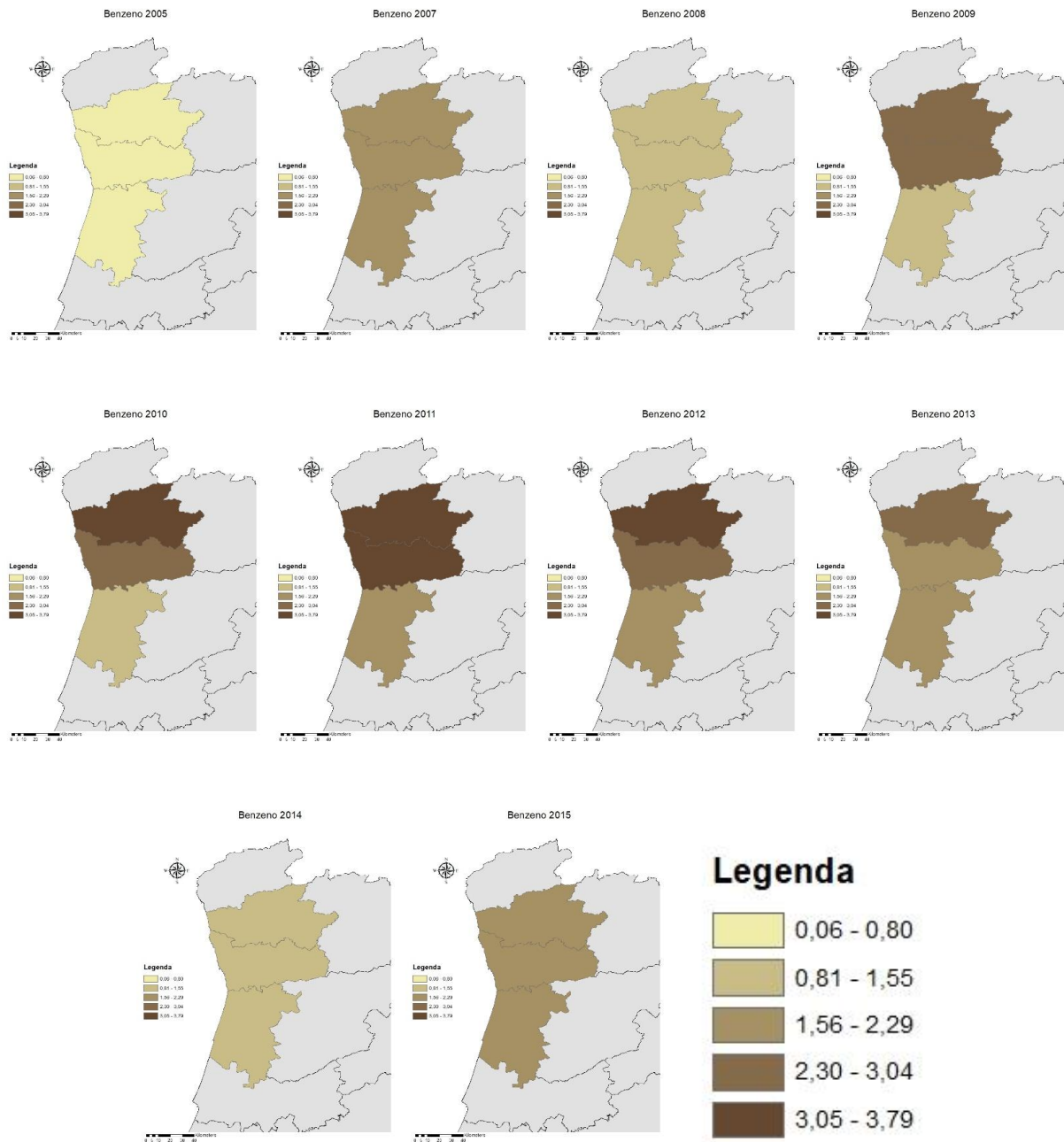


Figura 30 - Mapas anuais de C_6H_6 na zona de estudo e respetiva legenda

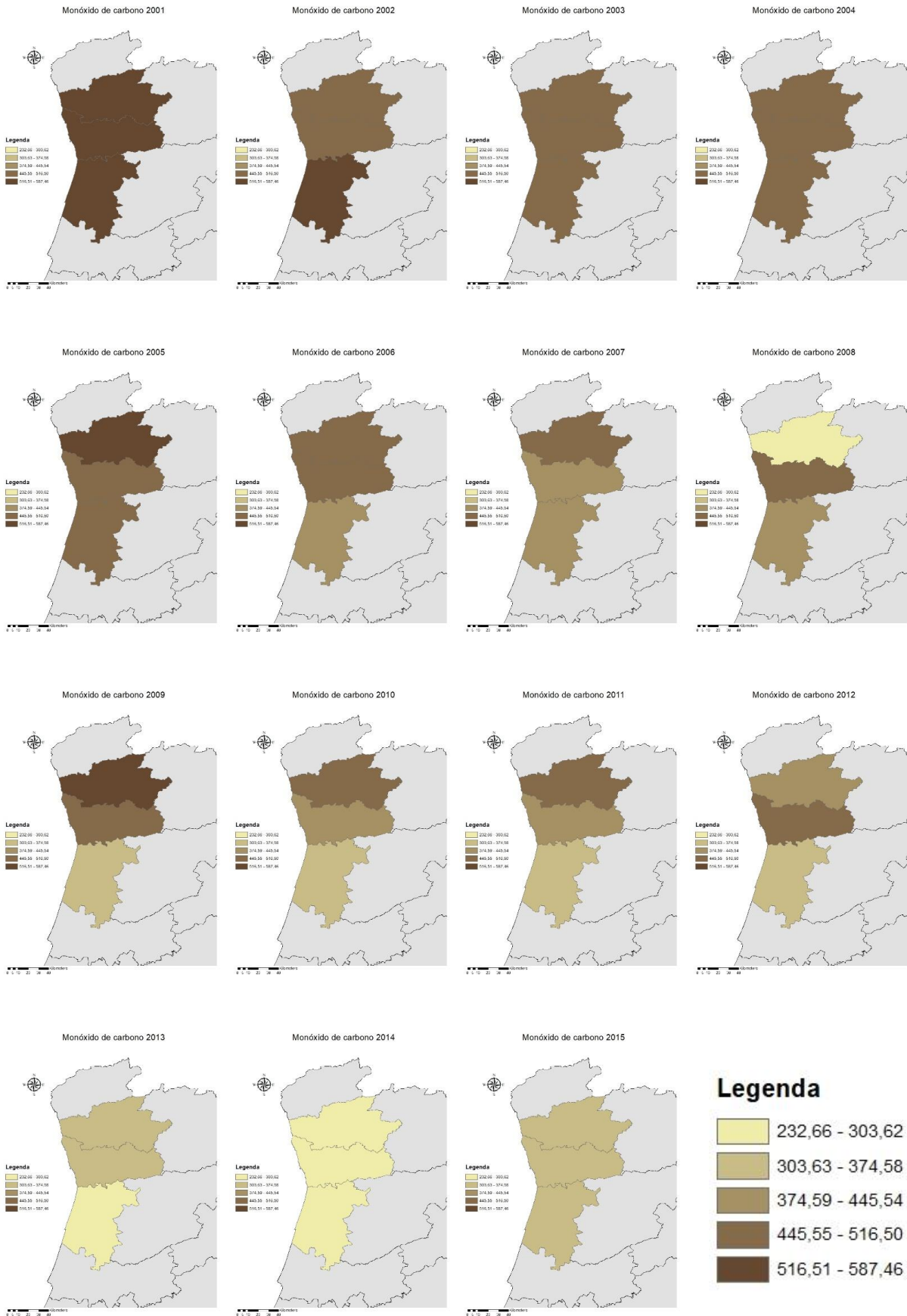


Figura 31 - Mapas anuais de CO na zona de estudo e respetiva legenda

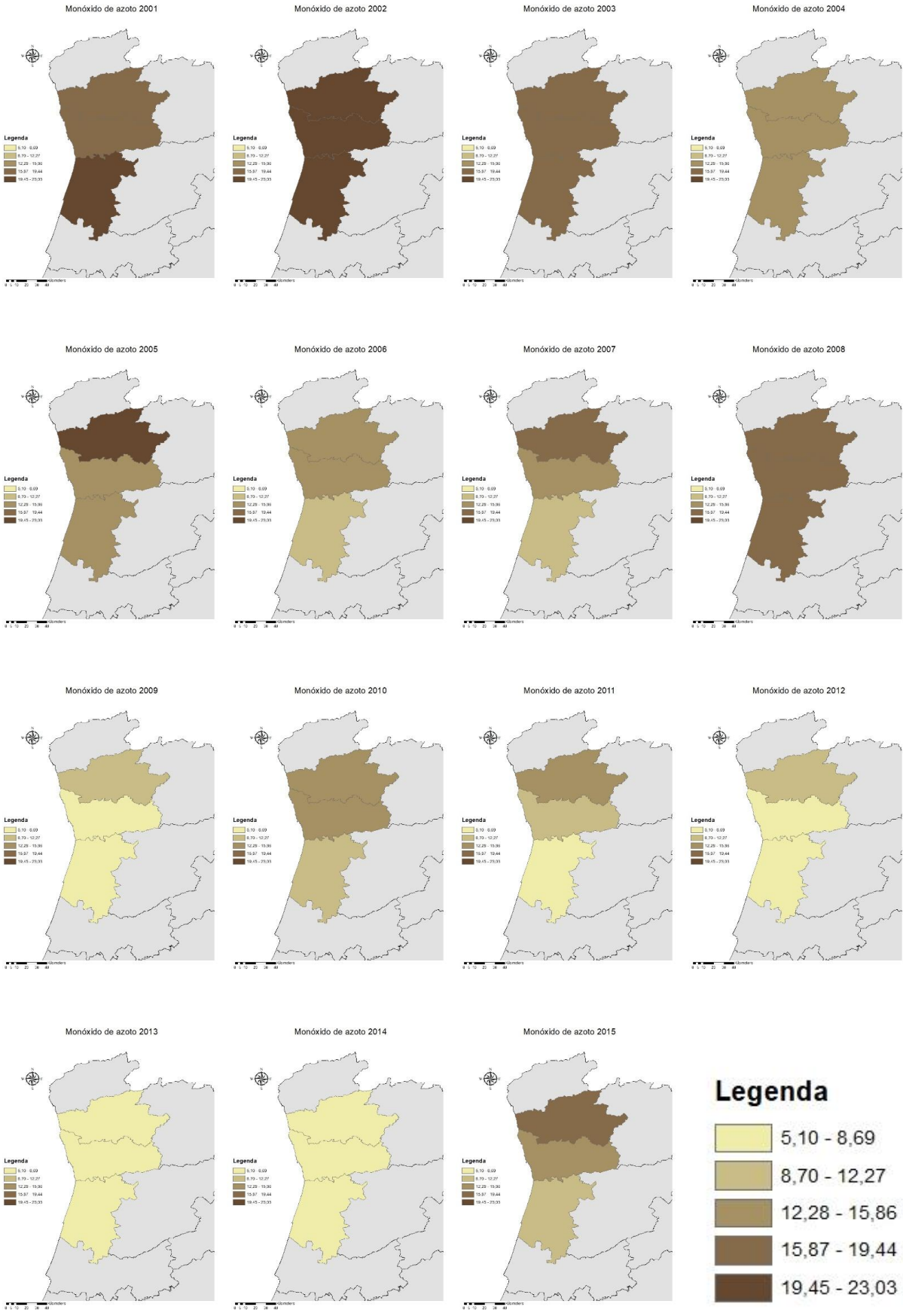


Figura 32 - Mapas anuais de NO na zona de estudo e respetiva legenda

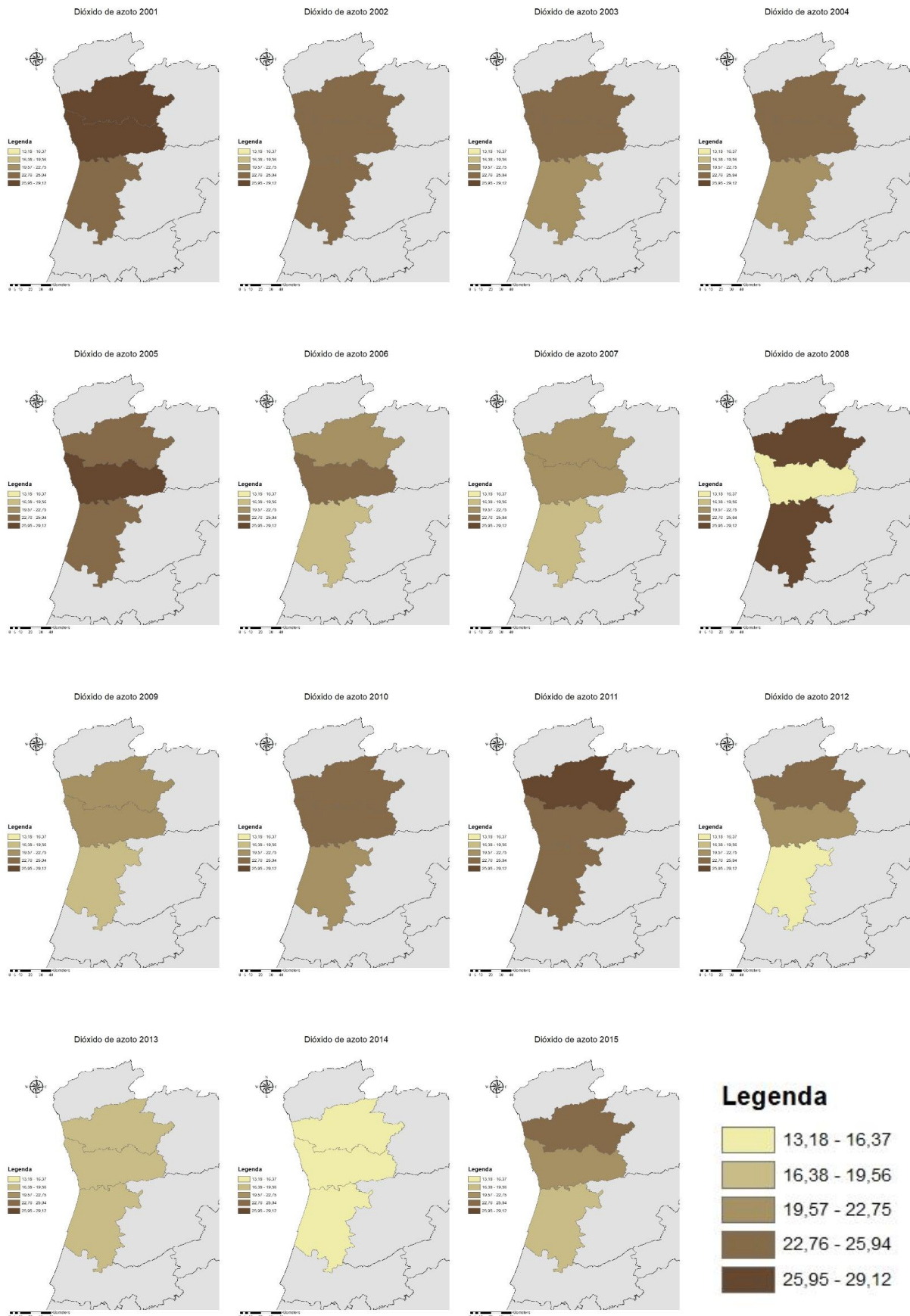


Figura 33 - Mapas anuais de NO₂ na zona de estudo e respetiva legenda

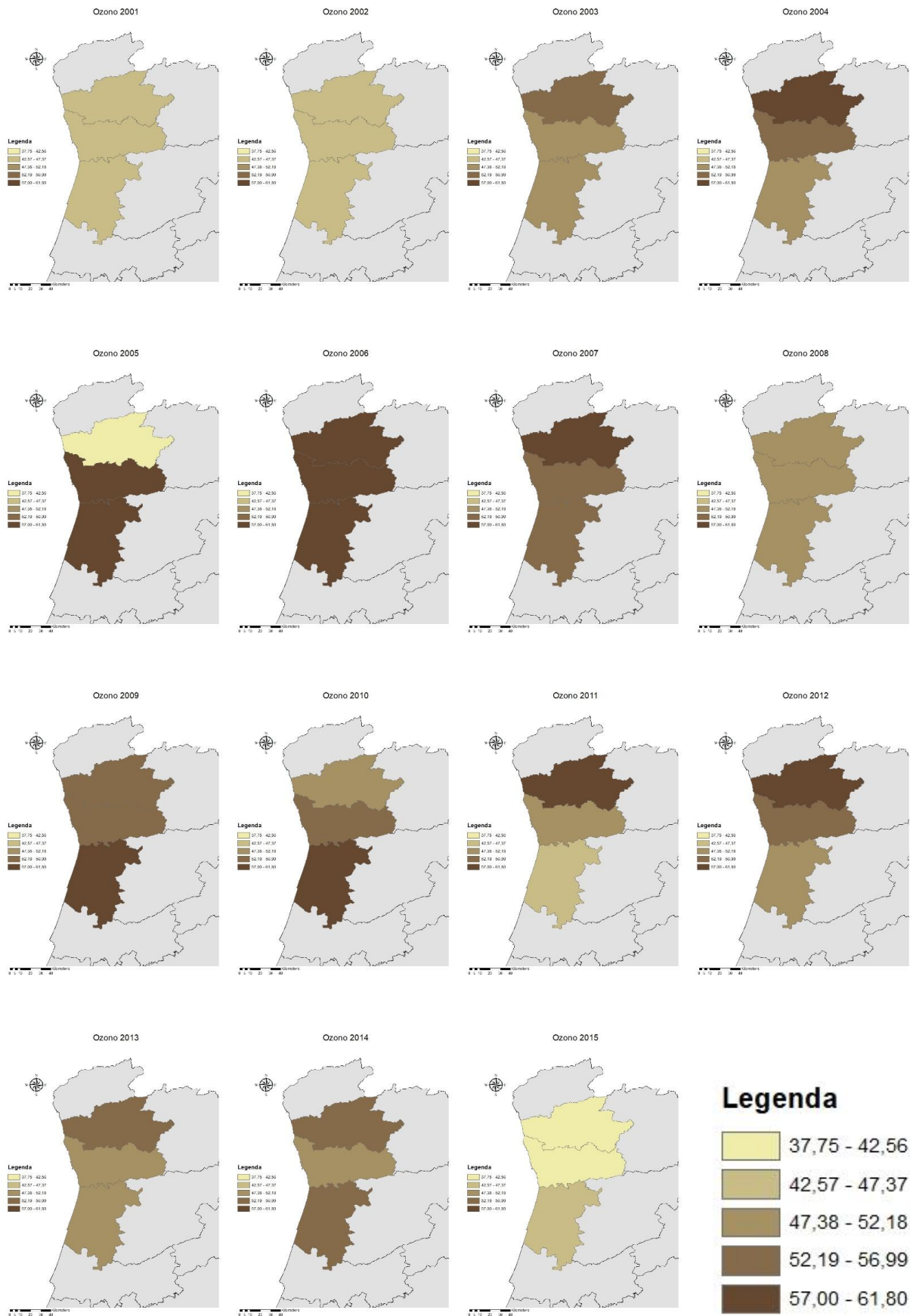


Figura 34 - Mapas anuais de O₃ na zona de estudo e respetiva legenda

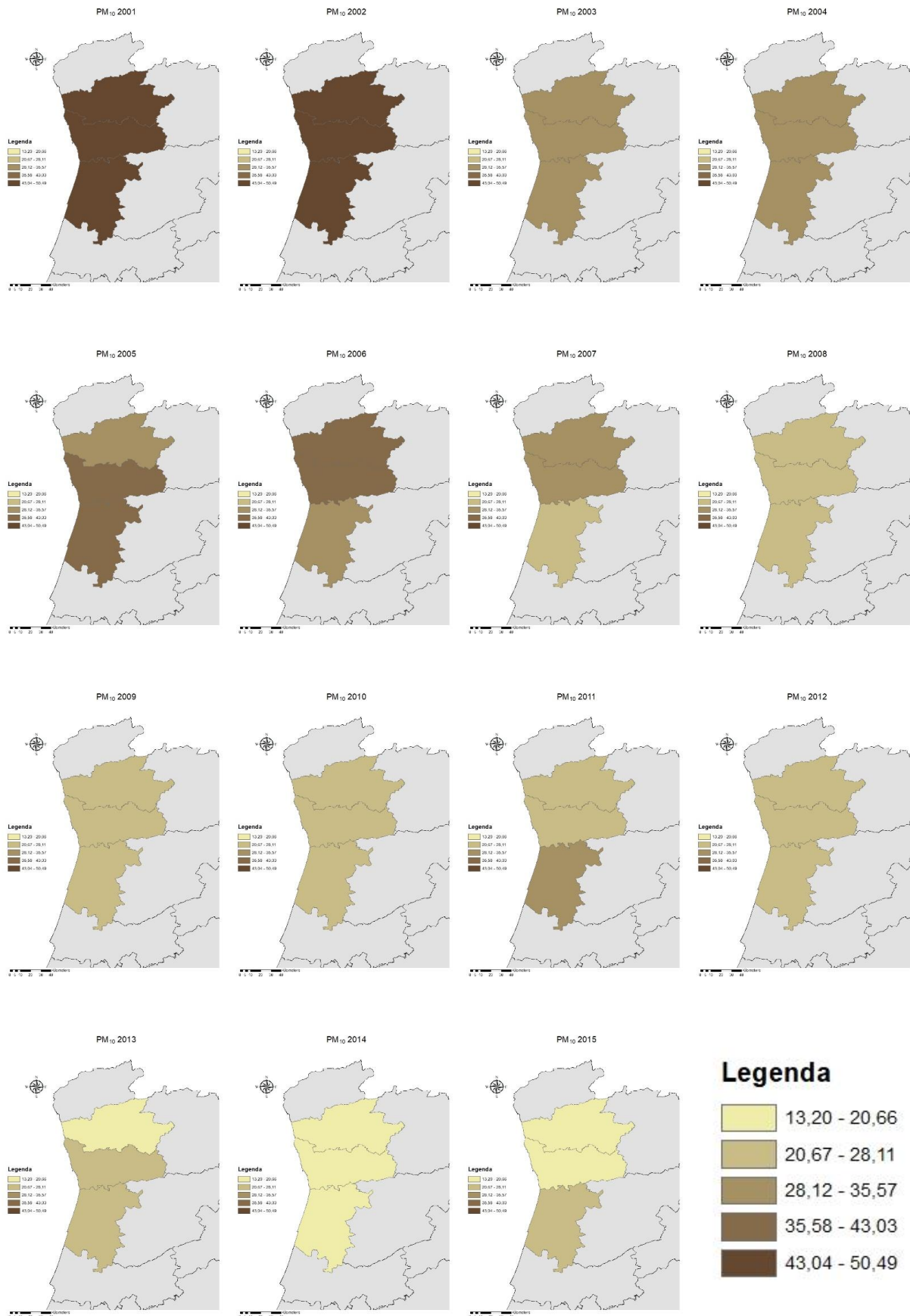


Figura 35 - Mapas anuais de PM₁₀ na zona de estudo e respetiva legenda

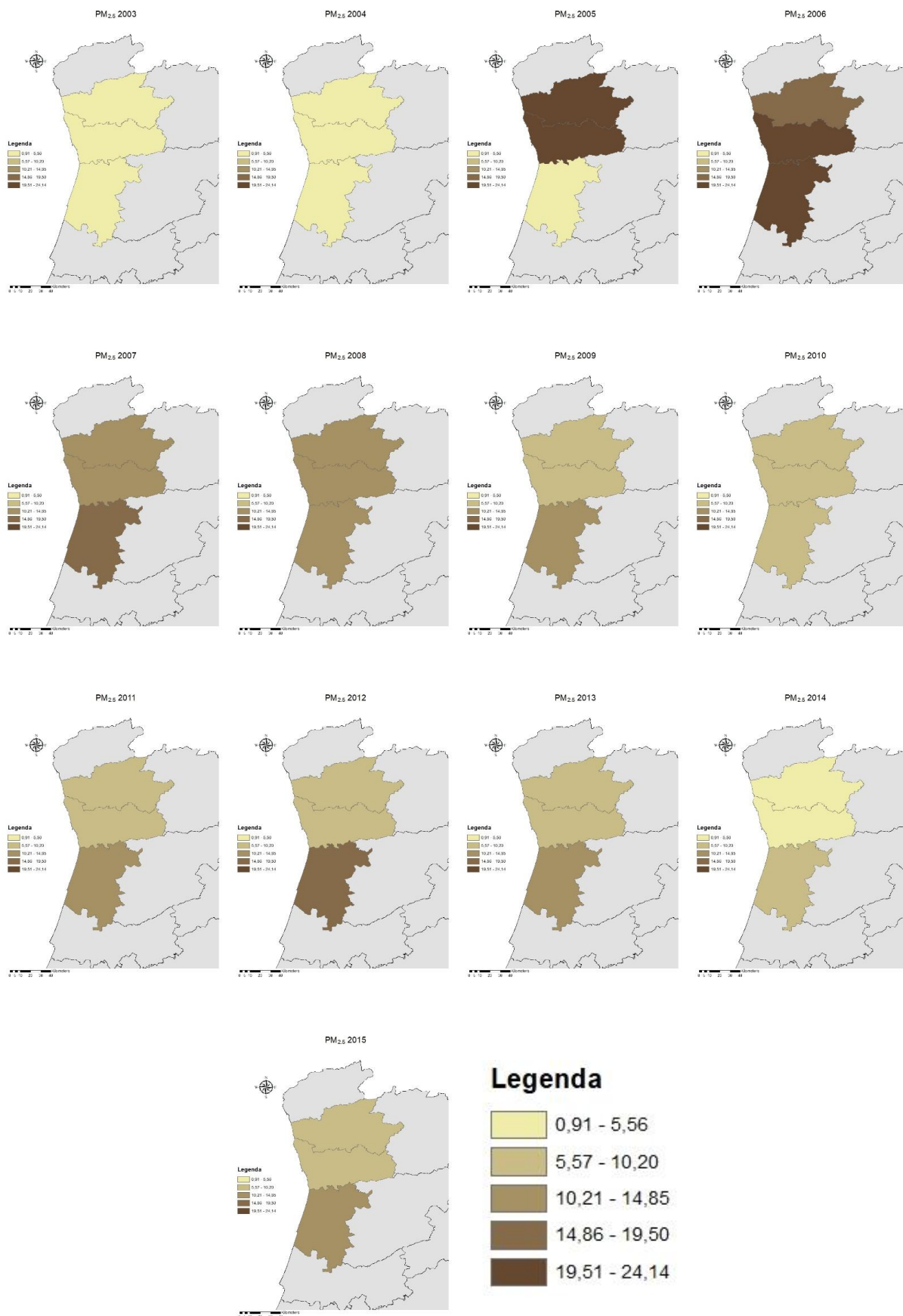


Figura 36 - Mapas anuais de PM_{2.5} na zona de estudo e respetiva legenda

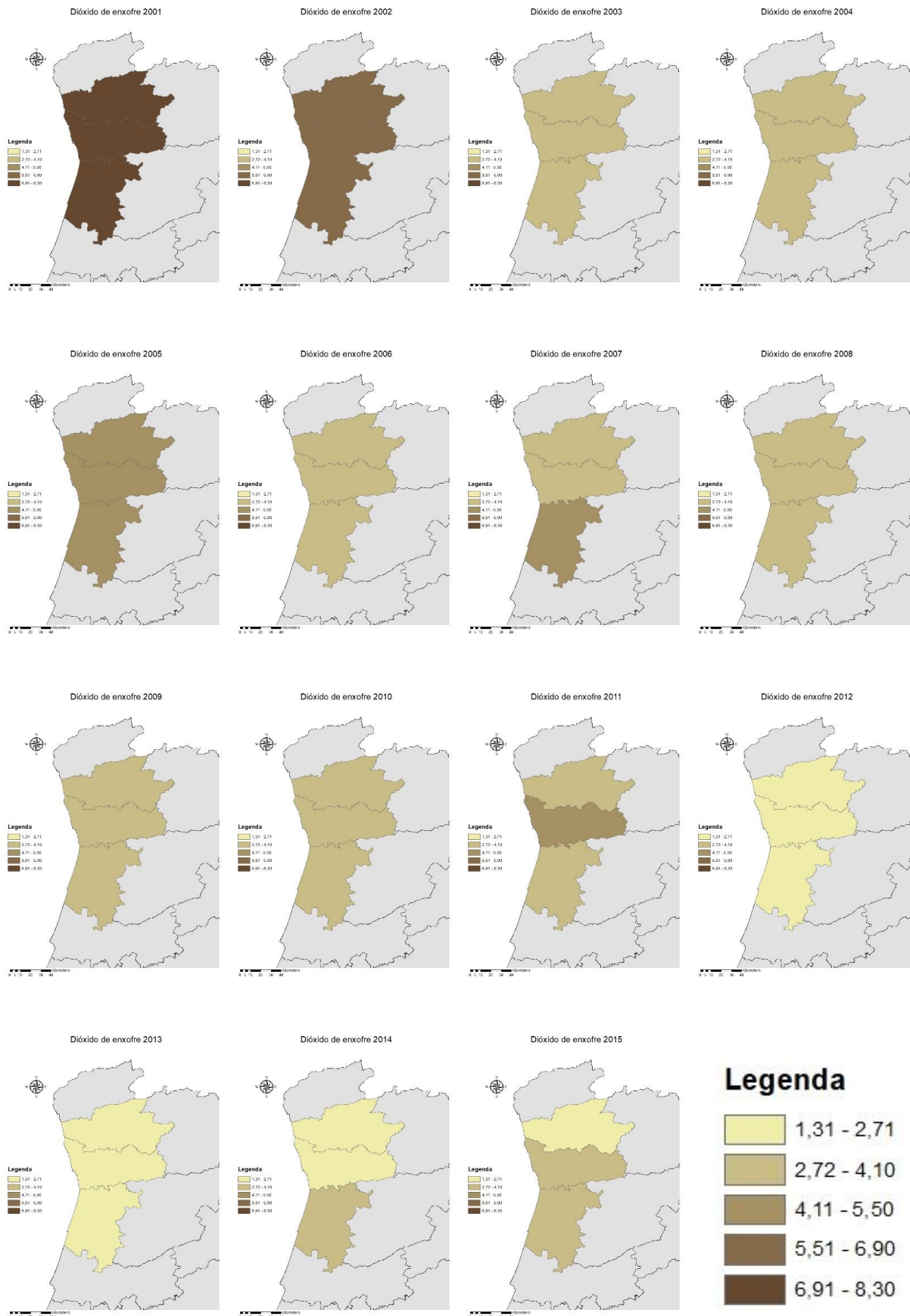


Figura 37 - Mapas anuais de SO₂ na zona de estudo e respetiva legenda